



**Erfan Priambodo
Nuryadi
Sutiman**



Aktif Belajar

Kimia

Untuk SMA & MA

Kelas

XI



PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

**Erfan Priambodo
Nuryadi
Sutiman**

Aktif Belajar Kimia XI

SMA & MA

**Erfan Priambodo
Nuryadi
Sutiman**



Aktif Belajar

Kimia

Untuk SMA & MA

Kelas

XI



PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Aktif Belajar Kimia

Untuk SMA & MA Kelas XI

Penulis:

Erfan Priambodo
Nuryadi
Sutiman

Editor ahli:

Crys Fajar P

Editor:

Pera Tri Hastuti

Setting/Layout:

Wiwik

Perwajahan:

Wahyudin M. Anwar

Ilustrator:

Adi Wahyono

Sumber sampul: Jendela Iptek 7

540.7

ERF

a

ERFAN Priambodo

Aktif Belajar Kimia : untuk SMA dan MA Kelas XI / penulis,
Erfan Priambodo, Nuryadi, Sutiman ; editor, Crys Fajar P ;
ilustrator, Adi Wahyono . — Jakarta : Pusat Perbukuan,
Departemen Pendidikan Nasional, 2009
vii, 238 hlm. : illus. ; 25 cm.

Bibliografi : hlm. 235

Indeks

ISBN 978-979-068-733-2 (no jilid lengkap)

ISBN 978-979-068-735-6

1. Kimia-Studi dan Pengajaran I. Judul

II. Nuryadi III. Sutiman

IV. Crys Fajar P V. Pera Tri Hastuti

VI. Adi Wahyono

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional
dari Penerbit : CV. Mediatama

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional Tahun 2009

Diperbanyak oleh : ...

Kata Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2009, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 9 Tahun 2009 tanggal 12 Februari 2009.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*down load*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Juni 2009
Kepala Pusat Perbukuan

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan buku **Aktif Belajar Kimia XI** untuk Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah.

Setiap konsep materi dibahas secara rinci dengan contoh-contoh yang mudah dipahami menggunakan ilustrasi yang sesuai dan menarik, serta gaya bahasa yang komunikatif. Penyajian materi diusahakan mempunyai relevansi dengan kehidupan sehari-hari, lingkungan siswa atau dengan dunia industri, sehingga ilmu kimia tidak terasa asing bagi para siswa yang baru belajar kimia tetapi menjadi menarik bagi siswa. Pelaksanaan praktikum/kegiatan yang sesuai dengan materi, mudah dilaksanakan, aman, namun tetap mengena pada sasaran pemahaman terhadap materi, dan memudahkan siswa memahami materi secara utuh dan lebih mendalam. Kemudian pada akhir bab diberikan sejumlah soal yang tidak hanya mengukur kemampuan kognitif siswa, tetapi juga mengukur kemampuan afektif dan psikomotorik siswa.

Penyusun telah berupaya semaksimal mungkin untuk berkarya dengan harapan buku ini dapat digunakan sebagai pegangan guru dan siswa dalam proses pembelajarannya. Tidak lupa kami ucapkan terima kasih dan rasa penghargaan yang setinggi-tingginya kepada guru dan siswa yang menggunakan buku ini. Kritik dan saran yang membangun akan sangat membantu kami demi kesempurnaan buku ini.

Surakarta, Mei 2007

Tim Penyusun

Daftar Isi

Katalog Dalam Terbitan (KDT)	ii
Kata Sambutan	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
Bab I. Teori Atom Mekanika Kuantum	1
A. Teori Atom Mekanika Kuantum	3
B. Konfigurasi Elektron	9
C. Hubungan Konfigurasi Elektron dan Sistem Periodik	14
Bab II. Bentuk Molekul dan Gaya Antarmolekul	21
A. Teori Domain Elektron dan Bentuk Molekul	22
B. Teori Hibridisasi	26
C. Gaya Antarmolekul	28
Bab III. Termokimia	37
A. Perubahan Energi pada Reaksi Kimia	38
B. Penentuan ΔH Reaksi	43
C. Kalor Pembakaran dalam Kehidupan	55
Bab IV. Laju Reaksi	63
A. Konsep Laju Reaksi	64
B. Faktor-faktor yang Menentukan Laju Reaksi ..	71
C. Teori Tumbukan	78
D. Penerapan Laju Reaksi dalam Kehidupan	82
Bab V. Kestimbangan Kimia	87
A. Tetapan Kestimbangan	88
B. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kestimbangan	93
C. Perhitungan Kestimbangan	98
D. Kestimbangan dalam Industri	102
Latihan Semester I	109

Bab VI. Larutan Asam-Basa	113
A. Teori Asam-Basa Arrhenius dan pH Larutan ...	114
B. Kekuatan Asam-Basa	121
C. Perhitungan dan Pengukuran pH	129
D. Reaksi Asam-Basa dan Perhitungannya	134
E. Pencemaran Air	136
F. Teori Asam-Basa Brønsted-Lowry	137
G. Teori Asam-Basa Lewis	139
Bab VII. Stoikiometri Larutan Asam-Basa	145
A. Titrasi Asam-Basa	146
B. Pengertian Larutan Penyangga	154
C. Menghitung pH Larutan Penyangga	157
D. Fungsi Larutan Penyangga	166
E. Konsep Hidrolisis	167
F. pH Larutan Garam.....	171
BabVIII. Kelarutan dan Hasil Kali Kelarutan.....	181
A. Pengertian Kelarutan dan Hasil Kali Kelarutan	182
B. Hubungan antara Kelarutan (s) dan Hasil Kali Kelarutan (K_{sp})	184
C. Reaksi Pengendapan	187
D. Pengaruh Ion Senama pada Kelarutan	189
Bab IX. Sistem Koloid	197
A. Komponen dan Pengertian Sistem Koloid	198
B. Sifat-Sifat Koloid.....	201
C. Pembuatan Sistem Koloid	208
Latihan Semester II	219
Latihan Akhir Tahun.....	223
Glosarium	229
Daftar Pustaka	235
Indeks	236
Lampiran	239
Kunci Latihan	246

Bab I



Teori Atom Mekanika Kuantum

Sumber gambar: Chemistry (Chang)

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan teori atom mekanika kuantum untuk menuliskan konfigurasi elektron dan menentukan letak unsur dalam tabel periodik.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



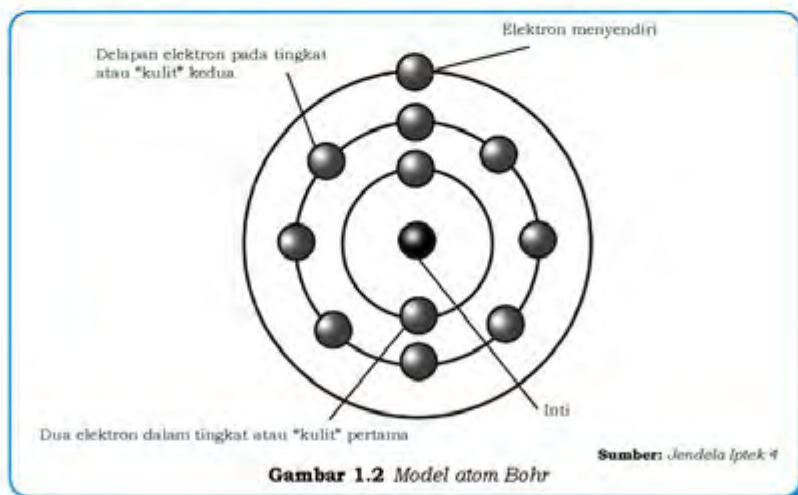
Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Atom
2. Bilangan kuantum
3. Konfigurasi elektron
4. Orbital
5. Asas Aufbau
6. Aturan Hund
7. Asas larangan Pauli



Sumber: Jendela Iptek 4
Gambar 1.1 Niels Bohr

Masih ingatkah kalian mengenai model atom Bohr? Pada 1913, Bohr mengemukakan model atom yang merupakan penyempurnaan dari model atom Rutherford. Ilmuwan ini menyimpulkan bahwa atom terdiri atas inti atom yang bermuatan positif dan elektron-elektron yang bergerak mengelilingi inti dalam orbit lingkaran dengan energi tertentu. Apakah model atom Bohr tersebut benar? Adakah model atom yang lain?



Gambar 1.2 Model atom Bohr

Meskipun model atom Bohr mampu menjelaskan terjadinya garis-garis spektrum pada atom hidrogen, tetapi gagal untuk meramalkan terjadinya spektrum yang dipancarkan atom-atom unsur lain. Menurut teori atom Bohr, jumlah elektron maksimum yang menempati masing-masing kulit adalah $2n^2$ dengan n adalah nomor kulit.

Kulit <i>K</i>	($n = 1$)	maksimum 2 elektron
Kulit <i>L</i>	($n = 2$)	maksimum 8 elektron
Kulit <i>M</i>	($n = 3$)	maksimum 18 elektron
Kulit <i>N</i>	($n = 4$)	maksimum 32 elektron

Coba kalian perhatikan konfigurasi elektron di bawah ini!

¹⁷ Cl	: 2 8 7 (golongan VII, periode 3)
²⁰ Ca	: 2 8 8 2 (golongan II, periode 4)
⁵⁰ Sn	: 2 8 18 18 4 (golongan IV, periode 5)

Konfigurasi tersebut tidak dapat menentukan suatu unsur termasuk golongan utama (A) atau transisi (B), hanya bisa menentukan nomor golongannya saja.

Kegagalan model atom Bohr mendorong para ilmuwan menggali teori-teori baru tentang susunan elektron dalam atom. Hasilnya diperoleh teori atom yang dapat menyempurnakan teori-teori yang terdahulu yang disebut *teori atom mekanika kuantum*.

A. Teori Atom Mekanika Kuantum

Banyak ahli yang memberikan sumbangan yang besar pada teori mekanika kuantum. Namun, dasar perkembangannya dikemukakan oleh Louis de Broglie, Heisenberg, dan Schrödinger. Pada tahun 1926, **Schrödinger** mengembangkan suatu persamaan yang mengaitkan sifat-sifat gelombang dengan energi elektron. Persamaan Schrödinger dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{d^2\psi}{dy^2} + \frac{d^2\psi}{dz^2} + \frac{8\pi^2m}{h^2}(E - E_p)\psi = 0$$

Persamaan ini merupakan persamaan diferensial kedua yang menyatakan energi total (E) dan energi potensial (E_p) dari suatu



Sumber: Biografi Tokoh Utama untuk Pelajar 5

Gambar 1.3 Erwin Schrödinger

partikel dalam massa (m) dan sebagai fungsi dari posisinya dalam tiga dimensi (x , y , dan z). Kuantum berasal dari bahasa Latin, yakni *quantum*, yang berarti banyak atau bilangan.

Di dalam teori mekanika kuantum, elektron diperlakukan sebagai suatu gelombang tiga dimensi. Kemungkinan menemukan elektron dinyatakan sebagai suatu kebolehjadian. Namun fungsi gelombang (Ψ) memberikan daerah yang berpeluang besar ditemukannya suatu elektron. Daerah ini disebut dengan *orbital*.

Walaupun posisi yang tepat suatu elektron tidak dapat ditentukan, namun kebolehjadian elektron berada di lokasi tertentu dapat dihitung dari persamaan Schrödinger. Suatu elektron bisa menempati seluruh orbital, meskipun kebolehjadian elektron pada tiap posisi dalam orbital tidak sama. Untuk memahaminya, elektron dapat dibayangkan sebagai sebuah partikel yang bergerak dari suatu tempat ke tempat lain dengan sangat cepat, sehingga elektron agak menyerupai *awan elektron* yang rapatannya beranekaragam dalam orbital tersebut. Kebolehjadian terbesar menemukan elektron pada suatu posisi tertentu ditafsirkan sebagai kuadrat fungsi gelombang (Ψ^2) pada suatu titik.

1. Bilangan Kuantum

Di dalam teori mekanika kuantum, setiap orbital dijelaskan oleh bilangan kuantum *utama* (n), bilangan kuantum *azimuth* (l), bilangan kuantum *magnetik* (m), dan bilangan kuantum *spin* (s). Bilangan kuantum spin (s) digunakan dalam pengisian elektron dalam orbital.

a. Bilangan Kuantum Utama (n)

Bilangan kuantum utama (n) menyatakan kulit tempat orbital berada. Bilangan kuantum utama (n) dimulai dari $n = 1$ sampai dengan $n = \infty$. Kulit ini juga sering dilambangkan dengan huruf, dimulai huruf *K* untuk $n = 1$, *L* untuk $n = 2$, *M* untuk $n = 3$, dan seterusnya. Bilangan kuantum utama (n) terkait dengan jarak rata-rata awan elektron dari inti (jari-jari = r). Semakin besar nilai n , maka jaraknya akan semakin besar pula.

b. Bilangan Kuantum Azimuth (l)

Bilangan kuantum azimuth (l) membagi kulit menjadi orbital-orbital yang lebih kecil (subkulit). Untuk setiap kulit n , memiliki bilangan kuantum azimuth (l) mulai $l = 0$ sampai

Info Kimia

Pemberian nama subtingkat energi s , p , d , f berdasarkan penampilan atau posisi garis-garis dalam spektra (dari unsur yang dieksitasi)

- s (*sharp*, tajam)
- p (*principal*, utama)
- d (*diffuse*, kabur)
- f (*fundamental*, dasar)

$l = (n - 1)$. Biasanya subkulit dengan $l = 1, 2, 3, \dots, (n - 1)$ diberi lambang huruf s, p, d, f , dan seterusnya. Bilangan kuantum azimuth (l) menggambarkan bentuk orbital. Selain itu, pada atom yang memiliki dua elektron atau lebih bilangan kuantum azimuth (l) juga menyatakan tingkat energi. Untuk kulit yang sama, energi subkulit akan meningkat dengan bertambahnya nilai l . Jadi, subkulit s memiliki tingkat energi yang terendah, diikuti subkulit p , subkulit d , subkulit f , dan seterusnya.

Tabel 1.1 Subkulit pada Bilangan Kuantum Azimuth (l)

Kulit	Bilangan Kuantum Azimuth (l)	Subkulit
$K (n = 1)$	0	1s
$L (n = 2)$	0, 1	2s, 2p
$M (n = 3)$	0, 1, 2	3s, 3p, 3d
$N (n = 4)$	0, 1, 2, 3	4s, 4p, 4d, 4f
...

c. Bilangan Kuantum Magnetik (m)

Bilangan kuantum magnetik (m) membagi subkulit menjadi orbital-orbital. Besarnya bilangan kuantum magnetik (m) untuk setiap subkulit l dimulai dari $m = -l$ sampai $m = +l$.

Tabel 1.2 Hubungan Bilangan Kuantum Utama (n), Azimuth (l), dan Magnetik (m)

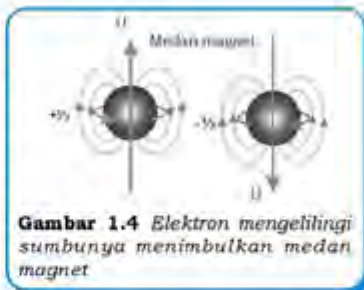
Utama (n)	Bilangan Kuantum			Jumlah Orbital Setiap Kulit (n^2)
	Azimuth (l)		Magnetik (m)	
1 K	0	1s	0	1
2 L	0	2s	0	4
	1	2p	-1, 0, +1	
3 M	0	3s	0	9
	1	3p	-1, 0, +1	
	2	3d	-2, -1, 0, +1, +2	
4 N	0	4s	0	16
	1	4p	-1, 0, +1	
	2	4d	-2, -1, 0, +1, +2	
	3	4f	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	

Dari tabel di atas terlihat:

- 1) subkulit s mengandung 1 orbital,
- 2) subkulit p mengandung 3 orbital,
- 3) subkulit d mengandung 5 orbital,
- 4) subkulit f mengandung 7 orbital,
- 5) dan seterusnya.

d. Bilangan Kuantum Spin (s)

Bilangan kuantum spin (s) menyatakan arah rotasi (perputaran) elektron mengelilingi inti. Arah rotasi elektron bisa searah jarum jam atau berlawanan arah dengan jarum jam. Jika searah jarum jam diberi nilai $+\frac{1}{2}$ dan diberi tanda \uparrow , sedangkan jika berlawanan arah dengan jarum jam diberi nilai $-\frac{1}{2}$ dan diberi tanda \downarrow . Bilangan



Gambar 1.4 Elektron mengelilingi sumbunya menimbulkan medan magnet

kuantum spin, digunakan sebagai dasar pengisian elektron dalam orbital, bahwa suatu orbital hanya dapat memiliki maksimum dua elektron. Suatu orbital hanya dapat memiliki dua nilai s , yaitu $+\frac{1}{2}$ dan atau $-\frac{1}{2}$.

Tabel 1.3 Hubungan Bilangan Kuantum Azimuth (l), Subkulit, Bilangan Kuantum Magnetik (m), Jumlah Orbital, dan Jumlah Elektron Maksimum

Bilangan Kuantum Azimuth (l)	Subkulit	Bilangan Kuantum Magnetik (m)	Jumlah Orbital	Jumlah Elektron
0	s	0	1	2
1	p	-1, 0, +1	3	6
2	d	-2, -1, 0, +1, +2	5	10
3	f	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	7	14

Contoh soal 1.1:

Dari beberapa set bilangan kuantum di bawah ini, manakah yang tidak diperbolehkan?

- a. $n = 2$ $l = 0$ $m = -1$ $s = -\frac{1}{2}$
 b. $n = 3$ $l = 2$ $m = -1$ $s = +\frac{1}{2}$

- 3) Jarak antarkulit semakin berkurang dan terjadi tumpang tindih seiring kenaikan tingkat energi. Akibatnya, energi orbital misalnya di subkulit $4s$ ($n = 4$) mempunyai energi yang lebih rendah dibandingkan subkulit $3d$ ($n = 3$). Hal inilah yang menjadi dasar dalam meramalkan konfigurasi elektron dalam atom (asas Aufbau).

b. Bentuk dan Orientasi Orbital

Bentuk orbital terkait dengan bilangan kuantum azimuth (l). Orbital-orbital yang memiliki bilangan kuantum azimuth (l) yang sama akan memiliki bentuk yang sama pula. Bentuk orbital merupakan fungsi Ψ^2 dari fungsi gelombang Schrodinger, sedangkan orientasi orbital terkait dengan bilangan kuantum magnetik (m).

1) Bentuk dan Orientasi Orbital pada Subkulit s

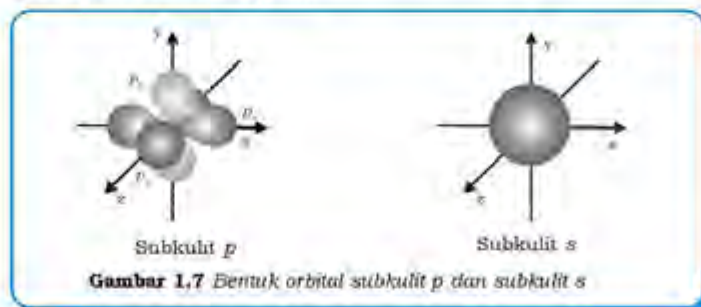
Subkulit s memiliki satu orbital dengan bentuk seperti bola. Orbital s hanya terdapat 1 nilai m , sehingga hanya terdapat 1 orientasi yaitu sama ke segala arah. Jika digambarkan dalam ruang tiga dimensi seperti bola.



Gambar 1.6 Awan elektron pada orbital $2s$

2) Bentuk dan Orientasi Orbital pada Subkulit p

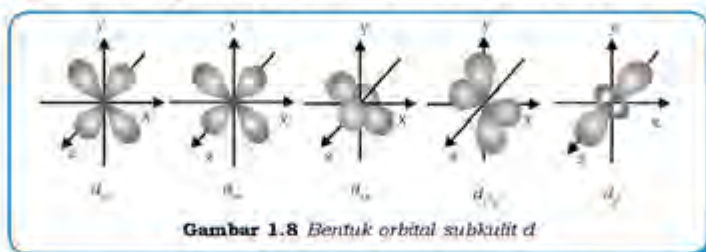
Subkulit p memiliki tiga orbital. Pada subkulit ini terdapat 3 nilai m ($-1, 0, +1$) sehingga terdapat 3 orientasi yang satu dan lainnya membentuk sudut 90° . Akibatnya, orbital ini memiliki bentuk seperti balon terpilin.



Gambar 1.7 Bentuk orbital subkulit p dan subkulit s

3) Bentuk dan Orientasi Orbital pada Subkulit d

Subkulit d memiliki 5 orbital dengan bentuk yang kompleks dan orientasi yang berbeda. Empat orbital pertama memiliki bentuk yang sama, sedangkan satu orbital memiliki bentuk yang berbeda. Kelima orbital itu adalah d_{xy} , d_{xz} , d_{yz} , $d_{x^2-y^2}$ dan d_{z^2} . Untuk lebih jelas, perhatikan gambaran orbital subkulit d di bawah ini!



Untuk orbital pada subkulit f (memiliki 7 orbital) tidak akan dibahas di sini karena bentuknya yang sangat kompleks.

B. Konfigurasi Elektron

Susunan elektron dalam orbital-orbital suatu atom disebut **konfigurasi elektron**. Bagaimana pengisian elektron ke dalam orbital? Dalam pengisian orbital oleh elektron terdapat kaidah-kaidah yang harus diperhatikan, yaitu asas Aufbau, asas larangan Pauli, dan aturan Hund.

1. Asas Aufbau

Menurut asas Aufbau, *pada kondisi normal atau pada tingkat dasar, elektron akan menempati orbital yang memiliki energi terendah terlebih dahulu*. Urutan pengisian orbital berdasarkan tingkat energi yang rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Lihat skema di samping!



Arah anak panah menyatakan urutan pengisian orbital. Elektron mula-mula mengisi orbital 1s, kemudian dilanjutkan orbital 2s dan seterusnya. Pada saat pengisian orbital 3p, tidak dilanjutkan ke orbital 3d melainkan orbital 4s terlebih dahulu baru dilanjutkan orbital 3d. Hal itu dikarenakan tingkat energi orbital 4s lebih rendah dibandingkan orbital 3d.

2. Asas Larangan Pauli

Dari percobaan Otto Stern dan Walter Gerlach (1921) tentang efek magnet pada atom natrium, dapat disimpulkan bahwa elektron-elektron dalam suatu atom saling berpasangan dengan spin yang berlawanan. Berdasarkan hal itu, pada tahun 1925 Wolfgang Pauli mengemukakan hipotesisnya yang menyatakan bahwa *dalam satu atom tidak mungkin dua elektron mempunyai keempat bilangan kuantum yang sama*. Misalnya, 2 elektron akan menempati subkulit 1s. Tiga bilangan kuantum pertama akan mempunyai nilai yang sama ($n = 1$, $l = 0$, $m = 0$). Untuk itu bilangan kuantum yang terakhir, bilangan kuantum spin(s), nilainya harus berbeda ($+\frac{1}{2}$ atau $-\frac{1}{2}$).



Sumber: Encarta
Gambar 1.10 Wolfgang Pauli

Dengan kata lain, setiap orbital maksimum hanya dapat terisi oleh 2 elektron dengan arah spin yang berlawanan. Sebagai contoh, pengisian elektron pada orbital 1s digambarkan:

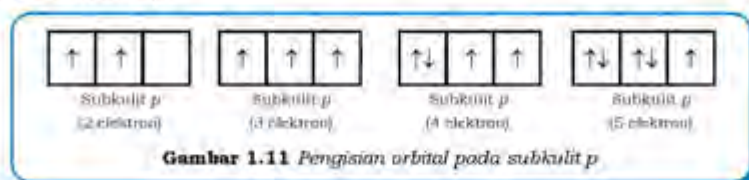


Oleh karena jumlah elektron dalam setiap orbital paling banyak adalah 2 dan jumlah orbital pada kulit ke- n adalah n^2 , maka jumlah maksimum elektron pada kulit n adalah $2n^2$. Sebagai contoh, jumlah elektron maksimum pada kulit M ($n = 3$) adalah $2(3)^2$, maksimum 18.

3. Aturan Hund

Pada tahun 1927, Frederick Hund menyatakan bahwa *dalam orbital-orbital yang setingkat, elektron-elektron akan mengisi orbital satu per satu dengan arah spin yang sama sebelum berpasangan*. Aturan ini dikemukakan berdasarkan penalaran bahwa energi tolak-menolak antara dua elektron akan minimum jika jarak antara elektron

berjauhan. Cobalah kalian perhatikan gambaran pengisian elektron pada subkulit p !



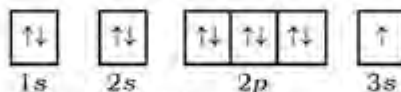
Contoh soal 1.2:

Tuliskan konfigurasi elektron (diagram orbital) unsur:

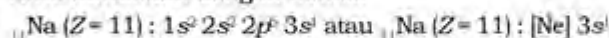
- a. $_{11}\text{Na}$ ($Z = 11$) b. $_{28}\text{Ni}$ ($Z = 28$) c. $_{15}\text{P}$ ($Z = 15$)

Penyelesaian:

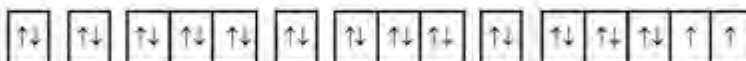
- a. Na ($Z = 11$):



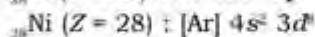
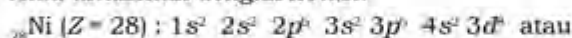
Atau dituliskan dengan notasi:



- b. Ni ($Z = 28$)



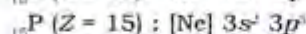
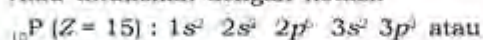
Atau dituliskan dengan notasi:



- c. P ($Z = 15$)



Atau dituliskan dengan notasi:



Tabel 1.4 Konfigurasi Elektron Unsur-unsur

Atom	Konfigurasi	Atom	Konfigurasi	Atom	Konfigurasi
¹ H	1s ¹	³⁹ Kr	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁶	⁷¹ Lu	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹
² He	1s ²	⁴⁰ Rb	[Kr] 5s ¹	⁷² Hf	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ²
³ Li	[He] 2s ¹	⁴¹ Sr	[Kr] 5s ²	⁷³ Ta	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ³
⁴ Be	[He] 2s ²	⁴² Y	[Kr] 5s ² 4d ¹	⁷⁴ W	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁴
⁵ B	[He] 2s ² 2p ¹	⁴³ Zr	[Kr] 5s ² 4d ²	⁷⁵ Re	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁵
⁶ C	[He] 2s ² 2p ²	⁴⁴ Nb	[Kr] 5s ² 4d ³	⁷⁶ Os	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁶
⁷ N	[He] 2s ² 2p ³	⁴⁵ Mo	[Kr] 5s ² 4d ⁵	⁷⁷ Ir	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁷
⁸ O	[He] 2s ² 2p ⁴	⁴⁶ Tc	[Kr] 5s ² 4d ⁶	⁷⁸ Pt	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ⁸
⁹ F	[He] 2s ² 2p ⁵	⁴⁷ Ru	[Kr] 5s ¹ 4d ⁷	⁷⁹ Au	[Xe] 6s ¹ 4f ¹⁴ 5d ¹⁰
¹⁰ Ne	[He] 2s ² 2p ⁶	⁴⁸ Rh	[Kr] 5s ¹ 4d ⁸	⁸⁰ Hg	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰
¹¹ Na	[Ne] 3s ¹	⁴⁹ Pd	[Kr] 4d ¹⁰	⁸¹ Tl	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ¹
¹² Mg	[Ne] 3s ²	⁵⁰ Ag	[Kr] 5s ¹ 4d ¹⁰	⁸² Pb	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ²
¹³ Al	[Ne] 3s ² 3p ¹	⁵¹ Cd	[Kr] 5s ² 4d ¹⁰	⁸³ Bi	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ³
¹⁴ Si	[Ne] 3s ² 3p ²	⁵² In	[Kr] 5s ² 4d ¹⁰ 5p ¹	⁸⁴ Po	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ⁴
¹⁵ P	[Ne] 3s ² 3p ³	⁵³ Sn	[Kr] 5s ² 4d ¹⁰ 5p ²	⁸⁵ At	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ⁵
¹⁶ S	[Ne] 3s ² 3p ⁴	⁵⁴ Sb	[Kr] 5s ² 4d ¹⁰ 5p ³	⁸⁶ Rn	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6p ⁶
¹⁷ Cl	[Ne] 3s ² 3p ⁵	⁵⁵ Te	[Kr] 5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁴		
¹⁸ Ar	[Ne] 3s ² 3p ⁶	⁵⁶ I	[Kr] 5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁵	⁸⁷ Fr	[Rn] 7s ¹
¹⁹ K	[Ar] 4s ¹	⁵⁷ Xe	[Kr] 5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁶	⁸⁸ Ra	[Rn] 7s ²
²⁰ Ca	[Ar] 4s ²	⁵⁸ Cs	[Xe] 6s ¹	⁸⁹ Ac	[Rn] 7s ² 6d ¹
²¹ Sc	[Ar] 4s ² 3d ¹	⁵⁹ Ba	[Xe] 6s ²	⁹⁰ Th	[Rn] 7s ² 6d ²
²² Ti	[Ar] 4s ² 3d ²	⁶⁰ La	[Xe] 6s ² 5d ¹	⁹¹ Pa	[Rn] 7s ² 5f ² 6d ¹
²³ V	[Ar] 4s ² 3d ³	⁶¹ Ce	[Xe] 6s ² 4f ¹ 5d ¹	⁹² U	[Rn] 7s ² 5f ³ 6d ¹
²⁴ Cr	[Ar] 4s ¹ 3d ⁵	⁶² Pr	[Xe] 6s ² 4f ³	⁹³ Np	[Rn] 7s ² 5f ⁴ 6d ¹
²⁵ Mn	[Ar] 4s ² 3d ⁵	⁶³ Nd	[Xe] 6s ² 4f ⁴	⁹⁴ Pu	[Rn] 7s ² 5f ⁶
²⁶ Fe	[Ar] 4s ² 3d ⁶	⁶⁴ Pm	[Xe] 6s ² 4f ⁵	⁹⁵ Am	[Rn] 7s ² 5f ⁷
²⁷ Co	[Ar] 4s ² 3d ⁷	⁶⁵ Sm	[Xe] 6s ² 4f ⁶	⁹⁶ Cm	[Rn] 7s ² 5f ⁸ 6d ¹
²⁸ Ni	[Ar] 4s ² 3d ⁸	⁶⁶ Eu	[Xe] 6s ² 4f ⁷	⁹⁷ Bk	[Rn] 7s ² 5f ⁹
²⁹ Cu	[Ar] 4s ¹ 3d ¹⁰	⁶⁷ Gd	[Xe] 6s ² 4f ⁷ 5d ¹	⁹⁸ Cf	[Rn] 7s ² 5f ¹⁰
³⁰ Zn	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰	⁶⁸ Tb	[Xe] 6s ² 4f ⁹	⁹⁹ Es	[Rn] 7s ² 5f ¹¹
³¹ Ga	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ¹	⁶⁹ Dy	[Xe] 6s ² 4f ¹⁰	¹⁰⁰ Fm	[Rn] 7s ² 5f ¹²
³² Ge	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ²	⁷⁰ Ho	[Xe] 6s ² 4f ¹¹	¹⁰¹ Md	[Rn] 7s ² 5f ¹³
³³ As	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ³	⁷¹ Er	[Xe] 6s ² 4f ¹²	¹⁰² No	[Rn] 7s ² 5f ¹⁴
³⁴ Se	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁴	⁷² Tm	[Xe] 6s ² 4f ¹³	¹⁰³ Lr	[Rn] 7s ² 5f ¹⁴ 6d ¹
³⁵ Br	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁵	⁷³ Yb	[Xe] 6s ² 4f ¹⁴		

Terdapat dua cara dalam penulisan konfigurasi elektron, yaitu berdasarkan urutan tingkat energi dan urutan nomor kulit. Perhatikan perbedaan cara penulisan konfigurasi elektron berikut.

1. Berdasarkan Urutan Tingkat Energi

1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 4s² 3d¹⁰ 4p⁶ 5s² 4d¹⁰ 5p⁶ 6s² 4f¹⁴ dan seterusnya.

2. Berdasarkan Urutan Nomor Kulit

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^{14} 5s^2 5p^6$ dan seterusnya.

Tidak semua unsur mengikuti kaidah pengisian elektron dalam orbital. Berdasarkan eksperimen, terdapat penyimpangan pada pengisian elektron pada orbital subkulit d dan f .

1. Penyimpangan pada Subkulit d

Penyimpangan ini dikarenakan orbital yang setengah penuh (d^5) atau penuh (d^{10}) bersifat lebih stabil daripada orbital yang hampir setengah penuh (d^4) atau hampir penuh (d^6 atau d^9). Akibatnya, satu atau semua elektron pada orbital subkulit ns pindah ke orbital subkulit $(n-1)d$. Perhatikan Tabel 1.5!

Tabel 1.5 Penyimpangan pada Orbital Subkulit d

Unsur	Konfigurasi Elektron	
	Diharapkan	Eksperimen
²⁴ Cr	[Ar] $4s^2 3d^4$	[Ar] $4s^1 3d^5$
²⁹ Cu	[Ar] $4s^2 3d^9$	[Ar] $4s^1 3d^{10}$
⁴² Mo	[Kr] $5s^2 4d^4$	[Kr] $5s^1 4d^5$
⁴⁶ Pd	[Kr] $5s^2 4d^8$	[Kr] $4d^{10}$
⁴⁷ Ag	[Kr] $5s^2 4d^9$	[Kr] $5s^1 4d^{10}$

2. Penyimpangan pada Subkulit f

Pada subkulit f , tingkat energi orbital saling berdekatan. Penyimpangan ini berupa berpindahnya satu atau dua elektron dari orbital subkulit $(n-2)f$ ke orbital subkulit $(n-1)d$. Lihat Tabel 1.6!

Tabel 1.6 Penyimpangan pada Orbital Subkulit f

Unsur	Konfigurasi Elektron	
	Diharapkan	Eksperimen
⁵⁷ La	[Xe] $6s^2 4f^1$	[Xe] $6s^2 5d^1$
⁵⁸ Ce	[Xe] $6s^2 4f^2$	[Xe] $6s^2 4f^1 5d^1$
⁶⁴ Gd	[Xe] $6s^2 4f^8$	[Xe] $6s^2 4f^7 5d^1$
⁸⁹ Ac	[Rn] $7s^2 5f^1$	[Rn] $7s^2 6d^1$
⁹⁰ Th	[Rn] $7s^2 5f^2$	[Rn] $7s^2 6d^2$
⁹¹ Pa	[Rn] $7s^2 5f^3$	[Rn] $7s^2 5f^2 6d^1$
⁹² U	[Rn] $7s^2 5f^4$	[Rn] $7s^2 5f^3 6d^1$
⁹³ Np	[Rn] $7s^2 5f^5$	[Rn] $7s^2 5f^4 6d^1$

Bagaimana penulisan konfigurasi elektron atom bermuatan (ion)? Atom yang bermuatan positif (ion positif) terbentuk karena atom netral melepaskan elektron pada kulit terluarnya, sedangkan ion negatif terbentuk karena menarik elektron untuk mengisi orbital dengan tingkat energi terendah yang belum penuh. Sebagai contoh, perhatikan konfigurasi atom netral dan ionnya berikut!

1. Mg ($Z = 12$) : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
Ion Mg^{2+} : $1s^2 2s^2 2p^6$
2. Cl ($Z = 17$) : $[Ne] 3s^2 3p^5$
Ion Cl^- : $[Ne] 3s^2 3p^6$

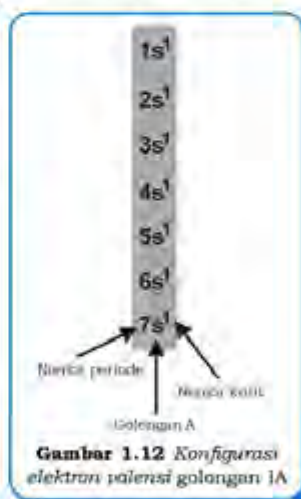
C. Hubungan Konfigurasi Elektron dan Sistem Periodik

Di kelas X telah dipelajari sistem periodik unsur. Bagaimana keterkaitan konfigurasi elektron dengan sistem periodik? Terdapat keteraturan dari hubungan konfigurasi elektron dan sistem periodik, yaitu:

1. Nilai n terbesar pada konfigurasi elektron unsur menyatakan periode unsur tersebut dalam sistem periodik.

Misalnya:

- a. ${}_{19}K : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
Nilai n terbesar adalah 4, maka K menempati periode 4.
 - b. ${}_{80}Hg : [Xe] 6s^2 4f^{14} 5d^{10}$
Nilai n terbesar adalah 6, maka Hg terletak pada periode 6.
2. Jenis subkulit dan jumlah elektron valensi unsur menentukan jenis dan nomor golongan unsur tersebut dalam sistem periodik.
 - a. Golongan utama (golongan A), pada golongan ini elektron valensi menempati subkulit s atau subkulit s dan p .



Gambar 1.12 Konfigurasi elektron valensi golongan IA

Perhatikan tabel berikut ini!

Tabel 1.7 Elektron Valensi Golongan Utama (Golongan A)

Golongan Utama	Elektron Valensi		
	Jumlah	Subkulit	Konfigurasi
IA	1	s	ns^1
IIA	2	s	ns^2
IIIA	3	s dan p	$ns^2 np^1$
IVA	4	s dan p	$ns^2 np^2$
VA	5	s dan p	$ns^2 np^3$
VIA	6	s dan p	$ns^2 np^4$
VIIA	7	s dan p	$ns^2 np^5$

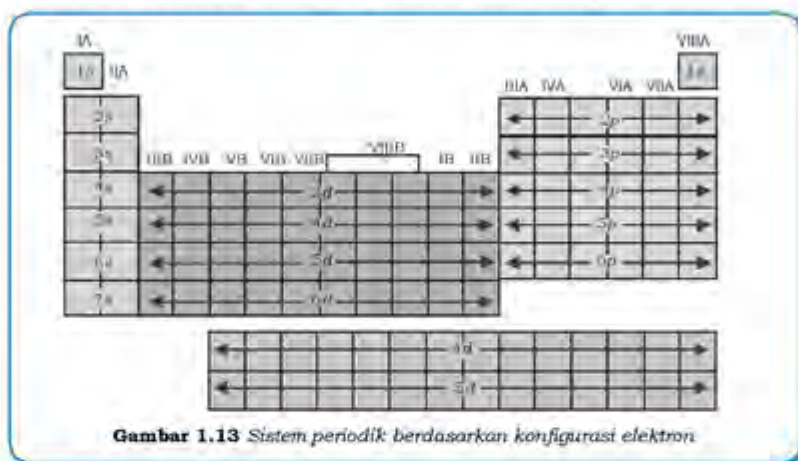
- b. Golongan transisi (golongan B), pada golongan ini elektron valensi menempati subkulit s dan d. Untuk lebih jelas, perhatikan tabel berikut!

Tabel 1.8 Elektron Valensi Golongan Transisi (Golongan B)

Golongan Utama	Elektron Valensi		
	Jumlah	Subkulit	Konfigurasi
IIIB	3	s dan d	$ns^2 (n-1)d^1$
IVB	4	s dan d	$ns^2 (n-1)d^2$
VB	5	s dan d	$ns^2 (n-1)d^3$
VIB	6	s dan d	$ns^1 (n-1)d^5$
VII B	7	s dan d	$ns^2 (n-1)d^5$
VIII B	8	s dan d	$ns^2 (n-1)d^6$
	9	s dan d	$ns^2 (n-1)d^7$
	10	s dan d	$ns^2 (n-1)d^8$
IB	11	s dan d	$ns^1 (n-1)d^{10}$
IIB	12	s dan d	$ns^2 (n-1)d^{10}$

- c. Untuk lantanida dan aktinida, elektron valensi menempati subkulit s dan f. Tapi jumlahnya tidak menentukan golongan, karena lantanida dan aktinida tidak mempunyai golongan.

Dalam sistem periodik, unsur-unsur yang mempunyai kemiripan sifat diletakkan dalam satu golongan. Apabila unsur-unsur disusun berdasarkan kenaikan nomor atom dan kesamaan konfigurasi elektron terluar diperoleh pola sebagai berikut.



Gambar 1.13 Sistem periodik berdasarkan konfigurasi elektron

Dari penjelasan di atas tampak ada hubungan antara konfigurasi elektron atom unsur-unsur dengan sistem periodik. Dapat dikatakan bahwa sistem periodik dapat digunakan untuk meramalkan konfigurasi elektron atom unsur-unsur.

Contoh soal 1.3:

Ramalkan posisi unsur di bawah ini dalam sistem periodik unsur!

- a. ${}_{17}\text{Cl} : [\text{Ne}] 3s^2 3p^5$ b. ${}_{25}\text{Mn} : [\text{Ar}] 4s^2 3d^5$

Penyelesaian:

- a. ${}_{17}\text{Cl} : [\text{Ne}] 3s^2 3p^5$

Kulit utama terbesar $n = 3$. Jadi, Cl terletak pada periode 3. Orbital terakhir ada di subkulit $3p$ dengan 5 elektron. Jadi, Cl terletak di golongan VIIA.

- b. ${}_{25}\text{Mn} : [\text{Ar}] 4s^2 3d^5$

Kulit utama terbesar $n = 4$. Jadi, Mn terletak pada periode 4. Orbital terakhir ada di subkulit $3d$ dengan 5 elektron. Jadi, Mn terletak di golongan VIIB.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal**, dan **akademik** kalian!

Tugas

1. Tuliskan konfigurasi elektron dari:
 - a. Ca ($Z = 20$)
 - b. Zn ($Z = 30$)
 - c. Fe ($Z = 26$)
 - d. Rb ($Z = 37$)
 - e. I ($Z = 53$)
 - f. Sn ($Z = 50$)
2. Ramalkan posisi unsur-unsur berikut dalam sistem periodik!
 - a. P ($Z = 15$)
 - b. Cu ($Z = 29$)
 - c. Ag ($Z = 47$)
 - d. Cs ($Z = 55$)
 - e. Xe ($Z = 54$)
 - f. Sr ($Z = 38$)
3. Ramalkan konfigurasi elektron dari unsur-unsur berikut!
 - a. Unsur Br (golongan VIIA periode 4)
 - b. Unsur Ti (golongan IVB periode 4)
 - c. Unsur Pb (golongan IVA periode 6)
 - d. Unsur At (golongan VIIA periode 6)
 - e. Unsur Mn (golongan VIIB periode 4)

Rangkuman

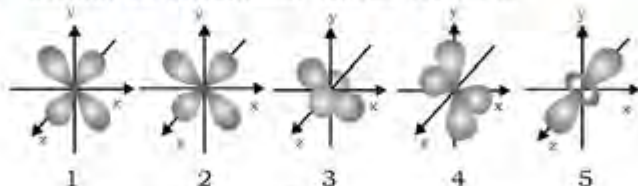
1. Teori mekanika kuantum dikembangkan oleh Louis de Broglie, Erwin Schrödinger, dan Werner Heisenberg.
2. Bilangan kuantum yang dimiliki suatu elektron dalam atom menggambarkan keadaan elektron tersebut.
3. Bilangan kuantum utama (n) menyatakan kulit tempat orbital berada.
4. Bilangan kuantum azimuth (l) menggambarkan bentuk orbital.
5. Bilangan kuantum magnetik (m) menunjukkan arah orbital dalam ruang.
6. Bilangan kuantum spin (s) menyatakan arah rotasi elektron mengelilingi inti.
7. Konfigurasi elektron mengikuti asas Aufbau, asas larangan Pauli, dan aturan Hund.

Uji Kompetensi

Kerjakan pada buku tugas kalian!

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Berikut ini merupakan bentuk orbital d .



Yang merupakan gambar bentuk orbital d_{xy} adalah . . .

- A. 1
B. 2
C. 3
D. 4
E. 5
2. Unsur X mempunyai nomor atom 35, konfigurasi unsur X adalah . . .
- A. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 3d^{10} 4s^2 4p^5$
B. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 3d^{10} 4s^2 4p^6$
C. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 3d^{10} 4s^2 4p^5 5s^1$
D. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 3d^{10} 4s^2 4p^4$
E. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 3d^{10} 4s^1 4p^5$
3. Tembaga mempunyai nomor atom 29. Dalam sistem periodik tembaga terletak pada golongan . . . dan periode . . .
- A. IIIA dan 4
B. IIIB dan 4
C. IIB dan 4
D. IB dan 4
E. IA dan 6
4. Kelemahan teori atom Niels Bohr ialah, Bohr **tidak** menjelaskan tentang . . .
- A. kestabilan atom
B. terbentuk spektrum garis
C. keberadaan elektron pada lintasan
D. terjadinya perpindahan elektron
E. kedudukan elektron dalam atom

10. Diketahui unsur X dengan nomor atom 24, jumlah elektron maksimum pada orbital *d* adalah . . .

- | | |
|------|------|
| A. 3 | D. 6 |
| B. 4 | E. 7 |
| C. 5 | |

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Bagaimana konfigurasi elektron unsur yang mempunyai nomor atom 26?
2. Suatu unsur terletak pada golongan VIIA dan periode 3 dari sistem periodik. Bagaimana konfigurasi dari atom unsur tersebut?
3. Jelaskan mengapa model Bohr untuk atom hidrogen menyalahi prinsip ketidakpastian Heisenberg!
4. Uraikan dengan singkat beberapa perbedaan antara orbital atom Bohr dengan orbital dari atom mekanika kuantum! Adakah kesamaannya?
5. Lengkapilah dengan memberikan nilai-nilai yang mungkin untuk bilangan kuantum yang tidak diketahui. Jenis orbital apakah yang diberikan oleh setiap perangkat berikut?
 - a. $n = ?$, $l = 2$, $m = 0$, $s = +\frac{1}{2}$
 - b. $n = 2$, $l = ?$, $m = -1$, $s = -\frac{1}{2}$
 - c. $n = 4$, $l = 2$, $m = 0$, $s = ?$
 - d. $n = 3$, $l = 0$, $m = ?$, $s = -\frac{1}{2}$

Bab II

Bentuk Molekul dan Gaya Antarmolekul

Sumber gambar: CD Image

Tujuan Pembelajaran

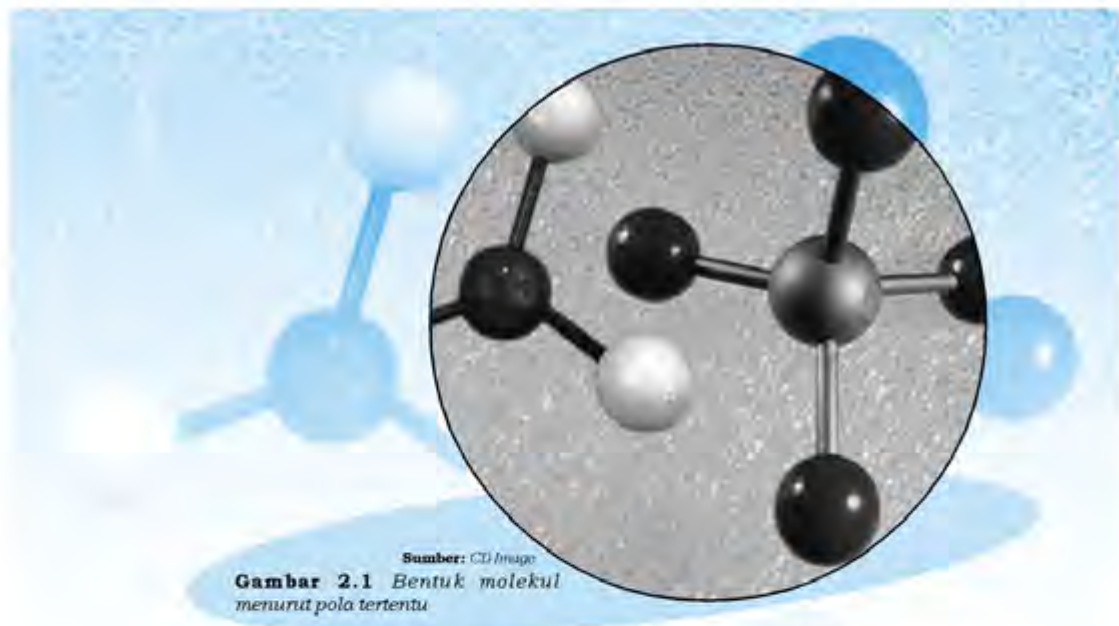
Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat meramalkan bentuk molekul berdasarkan teori jumlah pasangan elektron di sekitar inti atom (teori domain elektron) dan teori hibridisasi serta menjelaskan gaya antarmolekul dengan sifatnya.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Domain elektron
2. Bentuk molekul
3. Hibridisasi
4. Gaya antarmolekul



Susunan atom-atom dalam suatu molekul tidak berserakan, melainkan teratur menurut pola-pola tertentu yang disebut dengan *bentuk molekul*. Bagaimana bentuk molekul H_2O , CH_4 , dan NH_3 ? Bentuk molekul-molekul tersebut dapat diramalkan dengan teori domain elektron dan teori hibridisasi.

A. Teori Domain Elektron dan Bentuk Molekul

Atom diikat oleh atom lain dalam suatu molekul dengan menggunakan pasangan-pasangan elektron yang berada di atom pusat. Pasangan-pasangan ini mengalami gaya elektrostatis akibat dari muatan yang dimilikinya. Berdasarkan hal tersebut, pada tahun 1970, R.G. Gillespie mengajukan teori VSEPR (*Valance Shell Electron Pair Repulsion*) yang menyatakan bahwa **"pasangan-pasangan elektron akan berusaha saling menjauhi sehingga tolak-menolak antara pasangan elektron menjadi minimum"**. Teori ini disebut juga *teori domain elektron*.

Teori ini dikembangkan lebih lanjut untuk molekul yang memiliki ikatan rangkap. Ikatan rangkap tersebut terkungkung dalam suatu domain elektron. Domain elektron berlaku untuk pasangan elektron bebas yang terikat ke atom pusat suatu molekul. Domain elektron dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Domain Elektron Ikatan (DEI), merupakan domain elektron yang mengandung pasangan elektron ikatan (pasangan elektron yang digunakan bersama).

2. Domain Elektron Bebas (DEB), merupakan domain elektron yang mengandung pasangan elektron bebas (pasangan elektron yang tidak digunakan bersama).

Pada perkembangan lebih lanjut, pengertian domain elektron tidak hanya berlaku untuk ikatan rangkap tetapi termasuk ikatan tunggal. Jika jumlah elektron dalam domain elektron semakin banyak, maka gaya tolak-menolaknya akan semakin besar.

Urutan kekuatan tolak-menolak antara elektron bebas (EB) dan elektron ikatan (EI) menurut teori domain elektron adalah:

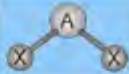


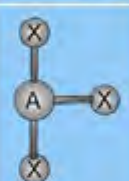




$$EB - EB > EB - EI > EI - EI$$

Dari hal tersebut terlihat bahwa domain-domain elektron bebas cenderung mendorong domain-domain elektron ikatan untuk saling mendekat. Berdasarkan jumlah atomnya, maka urutan gaya tolak-menolak pada domain elektron ikatan adalah:

$$EI \text{ rangkap } 3 > EI \text{ rangkap } 2 > EI \text{ tunggal}$$

Tabel 2.1 Bentuk Molekul Berdasarkan Teori Domain Elektron

Domain Elektron di Sekitar Atom Pusat	Rumus AX_mE_n	Bentuk Molekul Ikatan	Sudut	Struktur	Contoh
2	AX_2	Linier	180°		CO_2 , $BeCl_2$
3	AX_3	Segitiga sama sisi trigonal	120°		SO_3 , BF_3 , BCl_3
	AX_2E	Bengkok	$< 120^\circ$		SO_2 , SnI_2
4	AX_4	Tetrahedral	$109,5^\circ$		CH_4 , CCl_4
	AX_3E	Piramida trigonal	$< 109,5^\circ$		NH_3 , NF_3

	AX_2E_2	Planar bentuk V	$<109,5^\circ$		H_2O
5	AX_5	Bipiramida trigonal	$120^\circ (E-E)^*$ $180^\circ (A-A)^*$ $90^\circ (A-E)^*$		PCl_5
	AX_4E	Bidang empat	$<120^\circ (E-E)^*$ $180^\circ (A-A)^*$ $90^\circ (A-E)^*$		SF_4
	AX_3E_2	Planar bentuk T	$180^\circ (A-A)^*$ $90^\circ (A-E)^*$		ClF_3
	AX_2E_3	Linier	$180^\circ (A-A)^*$		XeF_2, I_3^-
6	AX_6	Oktahedral	90°		SF_6
	AX_5E	Piramida segi empat	$90^\circ (A-E)^*$		$XeOF_4, BrF_5$
	AX_4E_2	Planar segi empat	90°		XeF_4

Catatan:

AX_mE_n = rumus bentuk molekul, dengan

A : atom pusat

X : semua elektron yang terikat pada atom pusat

E : domain elektron bebas

m : jumlah DEI

n : jumlah DEB

A^* = aksial

E^* = ekuatorial

Bagaimana cara meramalkan bentuk-bentuk molekul suatu senyawa berdasarkan teori domain elektron? Untuk meramalkannya, lakukanlah langkah-langkah di bawah ini:

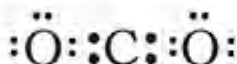
1. Tulislah struktur Lewisnya.
2. Dari struktur Lewis, tentukan jumlah domain elektron di sekitar atom pusat, jumlah domain elektron ikatan (DEI), dan jumlah domain elektron bebas (DEB).
3. Tentukan rumus bentuk molekulnya.
4. Bandingkan dengan Tabel 2.1.

Contoh soal 2.1:

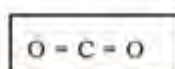
Ramalkan bentuk molekul CO_2 berdasarkan teori domain elektron!

Penyelesaian:

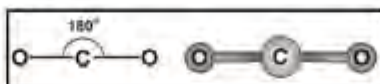
1. Tulislah struktur Lewis CO_2 !



2. Dari struktur itu diperoleh:
 - a. Jumlah domain elektron di sekitar atom pusat = 2
 - b. Jumlah domain elektron ikatan (DEI) = 2
 - c. Jumlah domain elektron bebas (DEB) = 0
3. Rumus yang diperoleh AX_2 .
4. Dari Tabel 2.1, rumus AX_2 adalah untuk bentuk molekul linier. Jadi, bentuk molekul CO_2 adalah linier.



Struktur Lewis



Bentuk linier dengan sudut 180°

Info Kimia

Elektron valensi suatu atom digambarkan dengan notasi yang disebut struktur Lewis. Penulisan struktur Lewis dengan menuliskan lambang atom dikelilingi oleh titik atau silang di sekitarnya. Jumlah titik atau silang menunjukkan jumlah elektron valensi (ev) atom tersebut.

Perhatikan bentuk molekul CH_4 , NH_3 , dan H_2O pada Tabel 2.1! Dalam molekul CH_4 terdapat 4 domain elektron ikatan (DEI) yang tolakannya hampir sama. Karena pasangan elektron ini harus sedapat mungkin jauh satu sama lain, maka sudut ikatan yang terbentuk adalah tetrahedral sebesar $109,5^\circ$. Pada molekul NH_3 terdapat 1 DEB dan 3 DEI. Tolakan DEB lebih besar daripada DEI sehingga ikatan-ikatan N – H didesak untuk lebih berdekatan satu sama lain dan membentuk sudut ikatan H – N – H sebesar $107,3^\circ$ lebih kecil dari CH_4 yang tolakannya sama besar. Molekul H_2O mempunyai 2 DEB dan 2 DEI. Berapa besarnya sudut ikatan H – O – H yang terbentuk? Apakah lebih kecil atau lebih besar dari NH_3 ? Adanya 2 DEB pada H_2O menyebabkan sudut H – O – H mengecil menjadi $104,5^\circ$.

B. Teori Hibridisasi

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bentuk molekul dapat diramalkan dengan teori domain elektron. Selain teori tersebut ada pula cara lain untuk meramalkan bentuk molekul, yaitu dengan teori hibridisasi. Sebagai contoh untuk senyawa hidrokarbon CH_4 .

Perhatikan konfigurasi elektron karbon berikut!

${}_6\text{C} : 1s^2 2s^2 2p^2$ atau

${}_6\text{C} : 1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^0$



Jumlah elektron valensi terluar atom C adalah 2, maka atom C seharusnya dapat mengikat 2 atom H menjadi CH_2 . Namun kenyataan di alam tidak terdapat senyawa CH_2 . Senyawa yang ada di alam adalah senyawa metana dengan rumus molekul CH_4 , mengapa hal itu dapat terjadi?

Atom karbon C agar dapat mengikat 4 atom H menjadi CH_4 , maka 1 elektron dari orbital $2s$ harus dipromosikan ke orbital $2p_z$ yang kosong, sehingga konfigurasi elektron atom C menjadi:

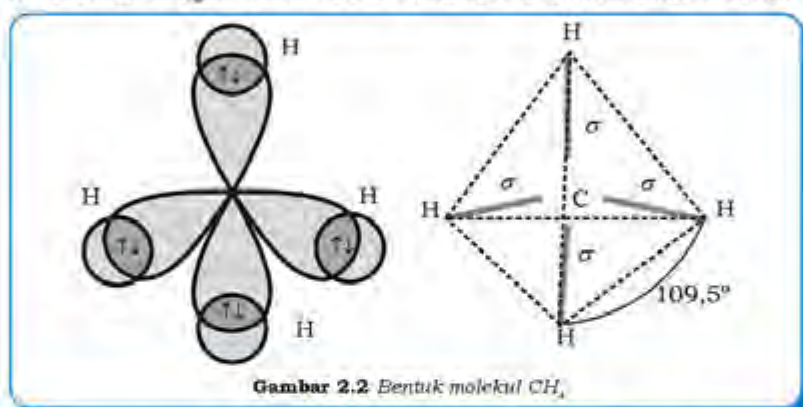
$1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$



Orbital $2s$ seharusnya mempunyai bentuk yang berbeda dengan ketiga orbital $2p$, akan tetapi ternyata kedudukan keempat ikatan C–H dalam CH_4 adalah sama. Hal ini terjadi karena pada saat orbital $2s$, $2p_x$, $2p_y$ dan $2p_z$ menerima 4 elektron dari 4 atom H, keempat orbital ini berubah bentuknya sedemikian hingga mempunyai kedudukan dan tingkat energi yang sama. Peristiwa itulah yang dikenal dengan istilah "**hibridisasi**".

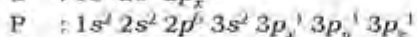
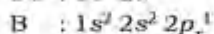
Dalam senyawa CH_4 , orbital-orbital hasil hibridisasi merupakan campuran satu orbital $2s$ dan tiga orbital $2p$, sehingga disebut orbital hibrid (orbital yang setara) sp^3 . Pada CH_4 terbentuk empat orbital sp^3 .

Berdasarkan kenyataan yang ada terbukti bahwa atom karbon mengadakan ikatan kovalen dengan empat atom hidrogen. Untuk dapat mengikat 4 atom H, maka atom C harus menyediakan 4 (empat) buah elektron tunggal (karena terbukti ikatan CH_4 adalah ikatan kovalen tunggal). Dalam senyawa CH_4 terdapat 4 buah ikatan dan kesemuanya identik, maka bentuk molekul CH_4 yang mungkin adalah bidang empat. Terbukti bahwa bentuk molekul CH_4 adalah tetrahedral dengan sudut ikatan antara dua ikatan adalah $109,5^\circ$.

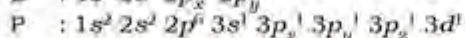
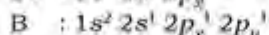
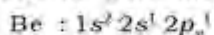


Bagaimana bentuk molekul BeCl_2 , BCl_3 , dan PCl_5 berdasarkan teori hibridisasi? Perhatikan konfigurasi masing-masing senyawa tersebut!

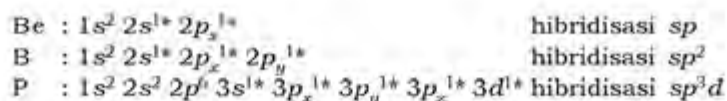
Konfigurasi elektron keadaan dasar



Konfigurasi pada keadaan promosi elektron



Apabila atom Be, B, dan P mengikat atom Cl, maka terbentuk senyawa BeCl_2 , BCl_3 , dan PCl_5 .



Dari ketiga senyawa tersebut dapat diramalkan bentuk orbitalnya. BeCl_2 membentuk hibridisasi sp . Kedudukan kedua ikatan tersebut identik, maka sudut ikatan antara dua ikatan adalah 180° , sehingga bentuk molekul yang mungkin adalah linier. BCl_3 membentuk tiga ikatan kovalen dengan hibridisasi sp^2 dan tiga ikatan tersebut mempunyai kedudukan yang identik. Sudut ikatan antara dua ikatan yang paling mungkin adalah 120° , sehingga bentuk molekul BCl_3 adalah segitiga datar. PCl_5 membentuk hibridisasi $sp^3 d$ dan terdapat 5 pasang ikatan dalam senyawa itu. Bentuk molekul yang paling mungkin pada PCl_5 adalah bipiramida trigonal dengan sudut ikatan 120° dan 90° .

Tabel 2.2 Bentuk Molekul Berdasarkan Teori Hibridisasi

Jenis Ikatan (Hibridisasi)	Jumlah Ikatan Maksimum	Bentuk Molekul	Contoh Senyawa
sp	2	Linier	BeCl_2
sp^2	3	Segitiga datar	BCl_3
sp^3	4	Tetrahedral	$\text{CH}_4, \text{CCl}_4$
dsp^3	5	Trigonal bipiramida	PCl_5
$sp^2 d; dsp^2$	4	Segi empat datar	$\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$
$d^2 sp^2; sp^3 d^2$	6	Oktahedral	$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}, \text{SF}_6$

C. Gaya Antarmolekul

Gaya antarmolekul merupakan interaksi antara molekul-molekul dalam suatu zat (unsur atau senyawa) melalui gaya elektrostatik. Gaya antarmolekul ini sangat dipengaruhi oleh kepolaran dari masing-masing molekul.

1. Kepolaran Molekul

Sebuah molekul dwi atom polar adalah suatu **dipol**, yaitu suatu benda yang memiliki dua muatan berlawanan pada titiknya. Untuk molekul seperti itu dapat ditentukan suatu **momen dipol**, yakni suatu ukuran terhadap derajat kepolaran.

Atom-atom dalam sebuah molekul posisinya relatif satu dengan yang lain. Molekul sederhana (molekul diatom), kedua intinya menentukan dan membentuk garis lurus, misalnya H_2 . Molekul

yang mengandung lebih dari dua atom dapat berbentuk linier atau bentuk yang lebih rumit, tergantung pada penataan inti-inti atomnya. Bentuk suatu molekul dapat dihubungkan dengan ada tidaknya momen dipol. Suatu molekul triatom atau yang lebih kompleks dapat mempunyai momen dipol, dapat pula tidak, tergantung pada penataan geometrik momen ikatan (momen polar dari suatu individu) dari molekul itu.

Karbon dioksida (CO_2), bersifat karakteristik karena molekulnya mempunyai momen ikatan saling meniadakan. Artinya momen dipol (*net dipol*) molekul tersebut sama dengan 0 (nol). Walaupun ikatan kovalen dalam molekul tersebut, $\text{C}=\text{O}$, bersifat polar, penataan yang simetrik dari ikatan menyebabkan momen-momen ikatan saling meniadakan dan menyebabkan molekul keseluruhan bersifat nonpolar.

Dari rumus senyawanya saja, dapat diduga bahwa molekul H_2O akan analog dengan molekul CO_2 . Namun pada kenyataannya, H_2O mempunyai momen dipol yang cukup besar. Selain itu, H_2O memiliki domain elektron bebas dan membentuk sudut sehingga molekul H_2O bersifat polar. Untuk lebih jelasnya, perhatikan gambar berikut ini!



2. Jenis Gaya Antarmolekul

Ada 3 gaya antarmolekul, yaitu gaya tarik-menarik dipol sesaat (gaya London), gaya tarik-menarik dipol-dipol, dan ikatan hidrogen. Gaya tarik-menarik dipol sesaat dan gaya tarik-menarik dipol-dipol juga sering disebut gaya van der Waals. Hal ini dikarenakan hipotesis **Johannes van der Waals** pada tahun 1873 tentang adanya gaya antarmolekul.

a. Gaya Tarik-menarik Dipol Sesaat-Dipol Terimbas (Gaya London)

Terdapat tarikan antara elektron satu molekul dengan inti-inti molekul-molekul yang lain. Suatu getaran dalam sebuah molekul mengimbas suatu geseran dalam elektron-elektron suatu molekul tetangga. Tarikan lemah ini pertama kali diuraikan oleh ilmuwan fisika Jerman, **Fritz London**, pada tahun 1930-an sehingga sering disebut gaya London. Mekanismenya terlihat seperti gambar berikut ini!



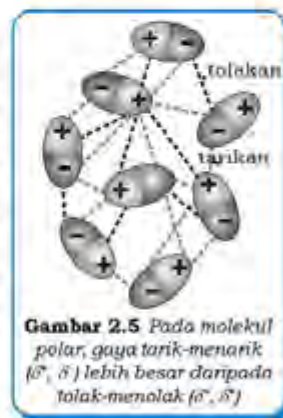
Dari gambar di atas dapat dijelaskan:

- 1) Dua molekul nonpolar yang elektron di dalamnya tidak berhenti bergerak. Elektron terdistribusi merata dalam molekul.
- 2) Terjadi pengkutuban atau pembentukan dipol yang disebut **dipol sesaat**.
- 3) Sisi bermuatan parsial negatif dari dipol sesaat akan mempengaruhi kerapatan elektron molekul terdekat sehingga membentuk suatu dipol disebut **dipol terimbas**. Adanya dipol sesaat dan dipol terimbas memungkinkan dua molekul tadi membentuk suatu ikatan yang disebut **gaya London**.
- 4) Gaya tarik-menarik ini hanya berlangsung sesaat. Hal ini dikarenakan dipol sesaat dan terimbas muncul mengikuti fluktuasi elektron.

Gaya London inilah yang menyebabkan adanya tarikan antara molekul-molekul nonpolar. Molekul-molekul besar lebih efektif ditarik satu sama lain daripada molekul-molekul kecil. Misalnya, dua molekul propana saling menarik dengan kuat dibandingkan dua molekul metana. Molekul dengan distribusi elektron yang besar lebih kuat saling menarik daripada molekul yang elektronnya kuat terikat. Misalnya molekul I_2 akan saling tarik-menarik dengan lebih kuat daripada molekul F_2 yang lebih kecil.

b. Gaya Tarik-menarik Dipol-dipol

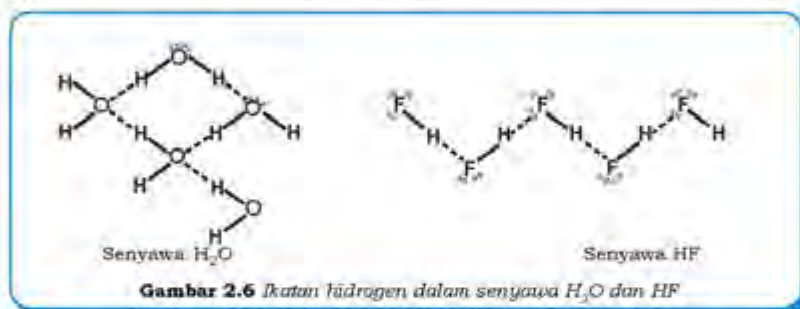
Molekul yang mempunyai momen dipol permanen disebut sebagai polar. Gaya tarik-menarik dipol-dipol merupakan gaya tarik menarik antara dua molekul polar. Dipol-dipol molekul-molekul tersebut akan saling tarik pada kutub-kutub dengan muatan yang berlawanan. Kekuatan tarikan ini lebih besar daripada tarikan pada molekul-molekul nonpolar. Jadi, zat-zat yang mempunyai molekul-molekul polar cenderung memiliki titik didih dan titik leleh yang lebih tinggi daripada molekul nonpolar yang ukurannya sama.



≡ Ikatan Hidrogen

Ikatan hidrogen merupakan gaya tarik-menarik dipol-dipol dengan kekuatan yang besar (sekitar 5 – 10 kali lebih besar). Ikatan ini terjadi antara molekul-molekul yang salah satu molekulnya mempunyai sebuah atom hidrogen yang terikat pada atom yang memiliki elektronegativitas besar dan molekul tetangganya mempunyai atom berelektronegativitas tinggi yang mempunyai pasangan elektron bebas.

Atom-atom yang dapat membentuk ikatan hidrogen adalah N (NH_3), O (H_2O) dan F (HF). Hal ini dapat dipahami karena ketiga atom tersebut memiliki elektronegativitas yang tertinggi. Perhatikan gambar di bawah ini!



Ikatan hidrogen telah digambarkan dalam senyawa H_2O dan HF. Bagaimana ikatan hidrogen dalam senyawa NH_3 ?

3. Sifat Fisis yang Dipengaruhi Gaya Antarmolekul

Gaya antarmolekul mempengaruhi sifat fisis dari suatu zat atau senyawa. Beberapa sifat fisis itu antara lain titik didih dan tegangan permukaan.

a. Titik Didih

Titik didih suatu cairan merupakan temperatur pada saat tekanan uap yang meninggalkan cairan sama dengan tekanan luar. Bila hal itu terjadi, akan terbentuk gelembung-gelembung uap dalam cairan. Karena tekanan uap dalam gelembung sama dengan tekanan uap udara, maka gelembung itu dapat terdorong lewat permukaan dan bergerak ke fase gas di atas cairan. Keadaan seperti itu disebut **mendidih**.

Titik didih suatu zat juga menggambarkan besarnya energi yang diperlukan untuk mengatasi gaya tarik-menarik antarmolekul dalam zat tersebut. Semakin kuat gaya tarik-menarik maka diperlukan energi yang besar, akibatnya titik didihnya menjadi tinggi. Perhatikan titik didih beberapa senyawa berikut ini!

Tabel 2.3 Titik Didih Beberapa Senyawa

Senyawa	Titik Didih (°C)	Gaya Antarmolekul yang Terlibat
CH ₄	-161,5	Gaya London
HCl	-85	Gaya tarik-menarik dipol-dipol
C ₂ H ₆	-42,1	Gaya London, tapi karena ukurannya yang besar maka titik didihnya lebih tinggi dari HCl
SO ₂	-10	Gaya tarik-menarik dipol-dipol (gaya London juga terlibat)
H ₂ O	100	Ikatan hidrogen

b. Tegangan Permukaan (Surface Tension)

Tegangan permukaan (*surface tension*) merupakan gaya yang cenderung membuat permukaan cairan melengkung. Hal itu dikarenakan pada permukaan zat cair jumlah molekulnya lebih sedikit dibandingkan dengan molekul zat cair di bawah permukaan. Akibatnya, molekul di permukaan mengalami gaya tarik-menarik yang lemah sehingga molekul permukaan cenderung tertarik ke dalam. Baik dalam tetesan atau bila cairan bersentuhan dengan wadah, permukaan yang melengkung itu mempunyai luas yang sekecil mungkin pada suasana itu untuk meminimalkan energi permukaan.

Semakin kuat gaya antarmolekul, maka tegangan permukaan yang dihasilkan semakin besar. Sebagai contoh, air (H₂O), mempunyai tegangan permukaan 0,073 N/m lebih tinggi daripada benzena (C₆H₆), yaitu sebesar 0,029 N/m. Hal ini dikarenakan H₂O yang bersifat polar mempunyai gaya antarmolekul, yakni ikatan hidrogen, jauh lebih kuat daripada gaya antarmolekul pada benzena yang bersifat nonpolar, yakni gaya London.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **keingintahuan**, **kecakapan personal**, dan **akademik** kalian!

Tugas

1. Ramalkan bentuk dari molekul NH₃, SO₂, CCl₄, dan SO₃ dengan menggunakan teori domain elektron!
2. Tentukan gaya-gaya antarmolekul yang terdapat pada HBr dan CHCl₃!

- Ikatan hidrogen terjadi pada senyawa H_2O . Apakah ikatan ini juga dimiliki oleh senyawa HCl dan HBr ? Jelaskan!
- Benzena (C_6H_6) memiliki titik didih $80,2^\circ C$ jauh di atas metana (CH_4) sebesar $-161,5^\circ C$. Jelaskan mengapa demikian!
- Manakah yang lebih tinggi titik didihnya antara senyawa alkohol dengan air? Jelaskan!

Kompetensi Iman

Dunia Tanpa Ikatan Kimia?

Bayangkan dunia ini tanpa ikatan kimia! Apa yang terjadi bila unsur-unsur terdapat dalam keadaan bebas tanpa berikatan? Kita ambil contoh ikatan kimia (ikatan hidrogen) yang terjadi pada air. Tanpa ikatan kimia, kita dapat membayangkan dunia ini tanpa air (H_2O). Air terdiri dari atom H dan O, ikatan kimia pada H_2O bersifat alami tanpa campur tangan kimia. Demikian juga ikatan hidrogen antarmolekul H_2O yang sangat kuat.

Tanpa air manusia dan makhluk hidup lainnya tidak dapat hidup. Manusia tidak dapat membuat air yang sangat banyak untuk memenuhi kebutuhannya sehari-hari. Suatu kebesaran dan rahmat Tuhan yang telah mengatur segalanya agar hidup ini berjalan dengan mudah. Manusia sebagai makhluk yang diberi akal dan pikiran harus mampu bersyukur dan menjaga apa yang telah dikaruniakan pada kita.

Rangkuman

- Bentuk molekul dapat diramalkan dari teori jumlah pasangan elektron di sekitar inti baik pasangan elektron bebas maupun pasangan elektron ikat serta hibridisasinya (pembentukan orbital hibrid).
- Ada 3 gaya antarmolekul yaitu gaya London, gaya tarik menarik dipol-dipol, dan ikatan hidrogen.
- Sifat fisis yang dipengaruhi gaya antarmolekul meliputi titik didih dan tegangan permukaan (*surface tension*).

Uji Kompetensi

Kerjakan pada buku tugas kalian!

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Jika nomor atom Xe dan F berturut-turut 54 dan 9, maka senyawa XeF_2 mempunyai bentuk
A. tetrahedral
B. piramida trigonal
C. oktahedral
D. linier
E. bentuk T
2. Dalam molekul PF_5 terdapat
A. 3 pasang elektron bebas, 2 pasang elektron ikatan
B. 4 pasang elektron bebas, 1 pasang elektron ikatan
C. 1 pasang elektron bebas, 4 pasang elektron ikatan
D. 5 pasang elektron bebas
E. 5 pasang elektron ikatan
3. Dari struktur Lewis senyawa berikut $\text{O}::\text{S}::\text{O}::$ maka bentuk molekulnya adalah
A. linier
B. bengkok
C. segitiga sama sisi
D. tetrahedral
E. piramida
4. Molekul berikut mempunyai bentuk dasar sama, **kecuali**
A. H_2O
B. CH_4
C. NH_3
D. PCl_3
E. BF_3
5. Titik didih alkohol ($\text{R} - \text{OH}$) lebih tinggi daripada titik didih eter ($\text{R} - \text{O} - \text{R}$), walaupun memiliki rumus molekul sama karena
A. alkohol berwujud cair pada suhu biasa
B. alkohol dapat bercampur baik dengan air
C. antarmolekul alkohol terdapat ikatan hidrogen
D. alkohol bersifat racun
E. reaksi alkohol dengan logam menghasilkan senyawa alkilat

6. Jika X : $[\text{Ar}] 4s^2 3d^{10} 4p^5$
 Y : $[\text{Kr}] 5s^2 4d^{10} 5p^1$
 Maka akan terbentuk senyawa dengan bentuk
 A. XY, linier
 B. XY_3 , segitiga planar
 C. XY_5 , bipiramida trigonal
 D. YX_3 , piramida trigonal
 E. YX_3 , segitiga planar
7. Di antara pasangan-pasangan senyawa berikut yang keduanya hanya memiliki gaya dispersi (gaya London) adalah
 A. CH_4 dan O_2
 B. NH_3 dan H_2S
 C. HCl dan H_2O
 D. CH_3COOH dan C_4H_{10}
 E. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ dan $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$
8. Senyawa berikut yang mempunyai titik didih paling tinggi adalah
 A. F_2
 B. Cl_2
 C. I_2
 D. At_2
 E. Br_2
9. Unsur X dengan konfigurasi $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^2$ dengan klorida membentuk
 A. XCl
 B. XCl_2
 C. X_2Cl
 D. XCl_4
 E. X_4Cl
10. Pernyataan berikut ini benar, **kecuali**
 A. ikatan ion terjadi antara unsur logam dengan unsur nonlogam
 B. ikatan logam terdapat pada unsur logam
 C. gaya van der Waals adalah gaya tarik-menarik antarmolekul
 D. ikatan hidrogen terdapat antarmolekul gas hidrogen
 E. ikatan kovalen terjadi antara sesama unsur nonlogam

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Mengapa sudut H - P - H dari molekul PH_3 lebih kecil dari sudut H - Si - H dari molekul SiH_4 ? (Diketahui A_r H = 1, P = 15, Si = 14)
2. Ramalkan bentuk molekul-molekul di bawah ini dengan menggunakan teori domain elektron!
 - a. CO_2
 - b. XeF_4
 - c. AsCl_5
 - d. SO_3(Diketahui A_r C = 6, O = 8, F = 9, Xe = 54, As = 33, S = 16, dan Cl = 17)
3. Adakah hubungan antara pasangan elektron yang mengelilingi atom pusat suatu senyawa dengan sifat kepolaran senyawa tersebut?
4. Apakah hubungan antara titik didih dengan ikatan hidrogen?
5. Bagaimana terjadinya ikatan van der Waals?

Bab III

Termokimia

Tujuan Pembelajaran

Sumber gambar: Oxford Ensiklopedi Pelajar

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menghitung energi dalam reaksi kimia berdasarkan percobaan, hukum Hess, data perubahan entalpi pembentukan standar, dan data energi ikatan.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Perubahan entalpi
2. Hukum Hess
3. Energi ikatan
4. Endoterm
5. Eksoterm
6. Kalor reaksi
7. Tekanan tetap



Sumber: Dok. Penerbit

Gambar 3.1 Penggunaan energi panas

Seperti kalian ketahui bahwa ilmu kimia merupakan salah satu rumpun dari sains yang mempelajari secara khusus materi, sifat perubahan, dan energi yang menyertai perubahannya, misal energi panas (Gambar 3.1). Dari definisi tersebut, apa yang dimaksud dengan energi?

Pada konteks ini, energi yang dimaksud adalah energi yang menyertai suatu reaksi kimia. Perubahan energi (ΔE) dalam reaksi kimia, yang biasanya berupa panas, disebut kalor reaksi. Oleh karena sebagian besar reaksi kimia berlangsung pada tekanan tetap, maka perubahan energi (ΔE) yang terjadi dinyatakan dalam perubahan entalpi (ΔH). Terlihat bahwa kalor reaksi disamakan dengan entalpi. Permasalahan ini termasuk dalam termokimia, yaitu bagian ilmu kimia yang mempelajari tentang kalor reaksi dan cara pengukurannya.

A. Perubahan Energi pada Reaksi Kimia

Pernakah kalian menjalankan mobil atau sepeda motor? Energi dalam bensin diubah menjadi bentuk energi lain, yaitu kalor dan gerak. Energi yang terkandung dalam bensin tidak dimusnahkan melainkan diubah bentuknya menjadi energi lain. Demikian pula gerak dan kalor (panas) yang dihasilkan tidak datang dengan



Sumber: Ilmu Pengetahuan Populer

Gambar 3.2 Dalam mesin mobil, energi bahan bakar diubah menjadi energi gerak dan energi panas(kalor)

sendirinya, melainkan bentuk perubahan dari energi lain. Konsep inilah yang disebut dengan Hukum Kekekalan Energi (Hukum Termodinamika I), yang berbunyi:

Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi hanya dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk lain

1. Sistem dan Lingkungan

Sistem adalah bagian dari alam semesta di mana terjadi perubahan energi, sedangkan lingkungan adalah segala sesuatu dari alam semesta yang berada di luar sistem. Di antara sistem dan lingkungan terdapat suatu pemisah yang disebut pembatas.

Interaksi antara sistem dan lingkungan dapat berupa pertukaran energi dan materi. Atas dasar itu, sistem dapat dibedakan:

- a. Sistem terbuka, yaitu sistem yang terbuka terhadap lingkungan (atmosfer) sehingga selama proses reaksi dapat terjadi pertukaran energi dan materi dengan lingkungannya.
- b. Sistem tertutup, yaitu sistem yang tertutup terhadap lingkungan (atmosfer) sehingga selama proses reaksi hanya dapat terjadi pertukaran energi, sedangkan materi tidak bisa.
- c. Sistem terisolasi, yaitu sistem yang sama sekali tertutup yang tidak memungkinkan terjadinya pertukaran materi maupun energi, misalnya termos (Gambar 3.3)



Sumber: www.sistemkimia.com

Gambar 3.3 Termos merupakan salah satu contoh sistem terisolasi

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan produktivitas** kalian!

Tugas 3.1

Termos merupakan salah satu contoh sistem terisolasi. Bagaimana prinsip kerjanya? Rancanglah alat-alat lain yang dapat berfungsi sebagaimana termos!

Perubahan energi (ΔE) dapat terjadi melalui pelepasan atau penyerapan kalor dan kerja. Jika kalor dilambangkan q dan kerja dilambangkan w , maka dapat dituliskan:

$$\Delta E = q + w$$

Perubahan energi suatu sistem dapat melalui dua cara, yaitu:

- Sistem menyerap kalor atau melepas kalor. Jika sistem menyerap kalor, maka sistem itu akan mendapat energi (nilai q positif), sedangkan jika sistem melepas kalor maka sistem akan mengeluarkan energi (nilai q negatif).
- Sistem melakukan kerja atau dikenai kerja. Jika sistem melakukan kerja, maka sistem akan mengeluarkan energi (nilai w negatif), sedangkan jika sistem dikenai kerja maka sistem akan mendapat energi (nilai w positif).

Kerja (w) merupakan bentuk energi yang menggambarkan suatu perpindahan energi antara kondisi mekanik sistem dengan lingkungan. Pada reaksi kimia, jenis kerja yang biasa digunakan adalah kerja yang melibatkan perubahan volume gas (ΔV) pada tekanan tetap (P). Dapat dituliskan:

$$w = -P \times \Delta V$$

Tanda negatif dalam rumus tersebut dapat dipahami bahwa:

- Jika volume gas diperbesar (ekspansi, ΔV positif), maka nilai w adalah negatif. Artinya sistem melakukan kerja.
- Jika volume gas diperkecil (kompresi, ΔV negatif), maka nilai w adalah positif. Artinya sistem dikenai kerja.

2. Entalpi dan Perubahan Entalpi

Sebagian besar reaksi berlangsung pada tekanan tetap. Banyaknya kalor yang dimiliki sistem pada tekanan tetap disebut entalpi (H). **Entalpi** (H) merupakan jumlah energi yang terkandung dalam sistem (E) dan kerja (PV). Dapat dituliskan:

$$H = E + PV$$

Perubahan entalpi (ΔH) merupakan selisih entalpi akhir dengan entalpi awal, dapat dituliskan:

$$\Delta H = H_{\text{akhir}} - H_{\text{awal}}$$

Rumus di atas dapat diturunkan:

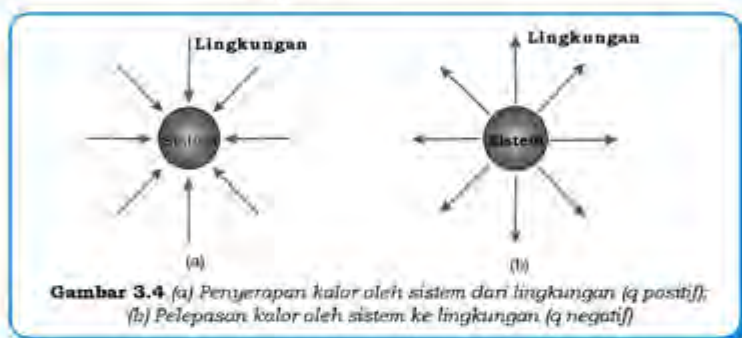
$$H = E + PV$$
$$\Delta H = \Delta E + V\Delta P + P\Delta V$$

Karena reaksi kimia umumnya berlangsung pada tekanan tetap, tidak ada perubahan tekanan ($\Delta P = 0$), maka:

$$\Delta H = \Delta E + P\Delta V$$

Dari persamaan: $\Delta E = q + w$ dan $w = -P \times \Delta V$, maka:

$$\begin{aligned}\Delta H &= \Delta E + P\Delta V \\ &= (q + w) + P\Delta V \\ &= (q - P\Delta V) + P\Delta V \\ &= q\end{aligned}$$



Jadi pada tekanan tetap, perubahan entalpi (ΔH) suatu reaksi kimia nilainya sama dengan kalor (q) yang diserap atau dilepas.

3. Reaksi Endoterm dan Reaksi Eksoterm

Pernahkah kalian memupuk tanaman dengan urea? Apakah yang kalian rasakan jika urea yang menempel di tangan terkena air?

Pada reaksi kimia biasanya disertai dengan perubahan kalor. Pada reaksi kimia yang menyerap kalor (terjadi perpindahan kalor dari lingkungan ke sistem) disebut reaksi **endoterm** (ΔH positif), sedangkan reaksi yang melepaskan kalor (terjadi perpindahan kalor dari sistem ke lingkungan) disebut reaksi **eksoterm** (ΔH negatif).

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja**, **berpikir kritis**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 3.1

Reaksi Endoterm dan Reaksi Eksoterm

Tujuan:

Mengelompokkan reaksi yang tergolong reaksi endoterm dan reaksi eksoterm.

Alat:

- | | |
|----------------------|-------------------|
| 1. Tabung reaksi | 4. Penjepit |
| 2. Rak tabung reaksi | 5. Sendok plastik |
| 3. Termometer | 6. Pipet tetes |

Bahan:

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. Larutan H_2SO_4 3 M | 4. NH_4NO_3 |
| 2. Gamping | 5. Akuades |
| 3. Urea | |

Cara Kerja:

- Siapkan 4 buah tabung reaksi dalam rak tabung reaksi. Isi masing-masing tabung reaksi dengan ± 2 mL akuades.
- Tambahkan tetes demi tetes H_2SO_4 sebanyak 5 tetes pada tabung reaksi 1. Rasakan suhu pada tabung reaksi.
- Tambahkan sedikit NH_4NO_3 pada tabung reaksi 2. Rasakan suhu pada tabung reaksi.
- Tambahkan sedikit gamping pada tabung reaksi 3. Rasakan suhu pada tabung reaksi.
- Tambahkan sedikit urea pada tabung reaksi 4. Rasakan suhu pada tabung reaksi.
- Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok!

Hasil Pengamatan:

No.	Perlakuan	Pengamatan
1.	Akuades + H_2SO_4	.....
2.	Akuades + NH_4NO_3	.....
3.	Akuades + gamping	.....
4.	Akuades + urea	.....

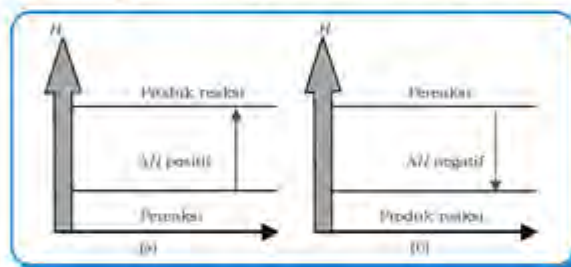
Pertanyaan dan Tugas:

1. Kelompokkan hasil pengamatan kalian! Manakah yang termasuk reaksi endoterm dan yang termasuk reaksi eksoterm?
2. Tuliskan reaksi yang terjadi!
3. Buatlah laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian.

Pada penjelasan di depan telah disebutkan bahwa perubahan entalpi (ΔH) merupakan selisih entalpi (H) akhir dengan entalpi (H) awal. Pada suatu reaksi kimia, H akhir merupakan H dari produk reaksi, sedangkan H awal adalah H dari pereaksi, dan dapat dituliskan:

$$\begin{aligned}\Delta H &= H_{\text{akhir}} - H_{\text{awal}} \\ &= \Sigma H_{\text{produk reaksi}} - \Sigma H_{\text{pereaksi}}\end{aligned}$$

Perubahan entalpi (ΔH) suatu reaksi kimia, baik endoterm maupun eksoterm, dapat ditunjukkan dari suatu diagram yang disebut dengan **diagram entalpi**. Perhatikan diagram entalpi berikut!



Pada diagram tersebut terlihat bahwa reaksi endoterm (a) menghasilkan ΔH yang positif, artinya $\Delta H_{\text{produk reaksi}} > \Delta H_{\text{pereaksi}}$, sedangkan pada reaksi eksoterm (b) terlihat bahwa ΔH -nya negatif. Artinya $\Delta H_{\text{produk reaksi}} < \Delta H_{\text{pereaksi}}$.

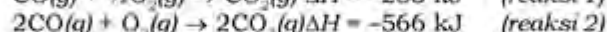
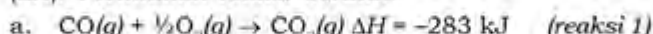
B. Penentuan ΔH Reaksi

Perubahan entalpi merupakan kalor reaksi dari suatu reaksi yang berlangsung pada tekanan tetap, maka entalpi harus diukur pada suhu dan tekanan tertentu. Para ahli kimia sepakat bahwa kondisi standar untuk mengukur nilai entalpi yaitu pada suhu 298,15 K (25°C) dan tekanan 1 atm. Suatu perubahan entalpi yang diukur pada keadaan standar disebut perubahan entalpi standar

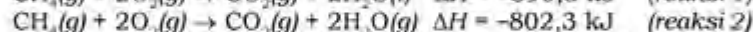
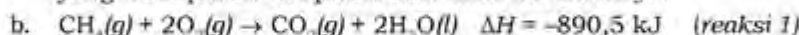
(ΔH°) yang mempunyai satuan kilo Joule (kJ) dalam sistem internasional (SI).

1. Persamaan Termokimia

Persamaan termokimia memberikan informasi tentang suatu reaksi yaitu mengenai jumlah mol pereaksi dan hasil reaksi serta jumlah energi yang terlibat di dalamnya. Perlu diperhatikan, bahwa penulisan persamaan termokimia harus hati-hati pada penulisan koefisien dan fase zat karena akan mempengaruhi perubahan entalpinya (ΔH). Perhatikan reaksi berikut!



Pada reaksi 1, merupakan pembakaran 1 mol gas CO dan reaksi 2 merupakan pembakaran 2 mol gas CO dengan ΔH reaksi yang merupakan kelipatan dari nilai koefisiennya.



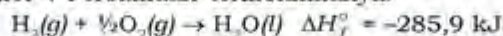
Reaksi pembakaran gas CH_4 menghasilkan gas CO_2 dan H_2O cair (reaksi 1) dan pada reaksi 2 menghasilkan gas CO_2 dan uap air. Fase zat yang berbeda akan menghasilkan ΔH yang berbeda pula.

2. Perubahan Entalpi Standar (ΔH°)

Perubahan entalpi yang diukur pada keadaan standar (suhu 298,15 K dan tekanan 1 atm). Berikut ini akan dijelaskan jenis-jenis perubahan entalpi standar.

a. Perubahan Entalpi Pembentukan Standar (ΔH_f°)

Perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f°) adalah perubahan entalpi apabila 1 mol senyawa dibuat dari unsur-unsurnya pada kondisi standar. Unsur-unsur harus dalam bentuknya yang paling stabil pada kondisi standar. Sebagai contoh, ΔH_f° pembentukan 1 mol H_2O cair dari gas H_2 dan O_2 adalah $-285,9 \text{ kJ mol}^{-1}$. Persamaan termokimianya:



b. Perubahan Entalpi Pembakaran Standar (ΔH_c°)

Perubahan entalpi pembakaran standar (ΔH_c°) adalah perubahan entalpi apabila 1 mol suatu zat mengalami pembakaran

Info Kimia

Hukum Kekekalan Energi ditemukan oleh James Prescott Joule (1818 – 1889), fisikawan Inggris. Namanya diabadikan sebagai satuan energi, yaitu Joule (J). Dimana 1 Joule = 0,24 kalori (kal)

sempurna pada kondisi standar. Sebagai contoh ΔH_c° pembakaran 1 mol $C_6H_{12}O_6$ adalah $-2803 \text{ kJ mol}^{-1}$. Persamaan termokimianya:



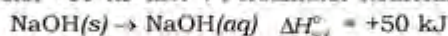
c. Perubahan Entalpi Pengatoman Standar (ΔH_{at}°)

Perubahan entalpi pengatoman standar (ΔH_{at}°) adalah perubahan entalpi pada pembentukan 1 mol atom-atom unsur dalam fase gas pada kondisi standar. Pada reaksi pengatoman akan memiliki ΔH° yang positif (endoterm). Hal ini dikarenakan reaksi memerlukan energi untuk memisahkan atom-atom. Sebagai contoh, ΔH_{at}° dari unsur hidrogen adalah $+218 \text{ kJ mol}^{-1}$. Persamaan termokimianya:



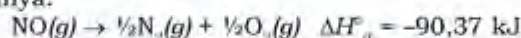
d. Perubahan Entalpi Pelarutan Standar (ΔH_{sol}°)

Perubahan entalpi pelarutan standar (ΔH_{sol}°) adalah perubahan entalpi apabila 1 mol senyawa diubah menjadi larutannya pada keadaan standar. Sebagai contoh, ΔH_{sol}° pelarutan NaOH menjadi larutannya adalah $+50 \text{ kJ mol}^{-1}$. Persamaan termokimianya:



e. Perubahan Entalpi Peruraian Standar (ΔH_d°)

Perubahan entalpi peruraian standar (ΔH_d°) adalah perubahan entalpi apabila 1 mol senyawa diuraikan menjadi unsur-unsurnya pada keadaan standar. Sebagai contoh, ΔH_d° peruraian gas NO menjadi gas nitrogen dan oksigen adalah $-90,37 \text{ kJ mol}^{-1}$. Persamaan termokimianya:



f. Perubahan Entalpi Peleburan Standar (ΔH_{fus}°)

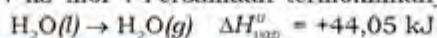
Perubahan entalpi peleburan standar (ΔH_{fus}°) merupakan perubahan entalpi pada peleburan 1 mol zat padat menjadi zat cair pada titik leburnya dan tekanan standar. Sebagai contoh, ΔH_{fus}° H_2O padat adalah $+6,01 \text{ kJ mol}^{-1}$. Persamaan termokimianya:



g. Perubahan Entalpi Penguapan Standar (ΔH_{vap}°)

Perubahan entalpi penguapan standar (ΔH_{vap}°) merupakan perubahan entalpi pada penguapan 1 mol zat cair menjadi gas pada

titik didihnya dan tekanan standar. Sebagai contoh, $\Delta H_{\text{vap}}^\circ$ H_2O cair adalah $+44 \text{ kJ mol}^{-1}$. Persamaan termokimianya:



2. Perhitungan ΔH Reaksi

Bagaimana menentukan perubahan entalpi (ΔH) suatu reaksi kimia? Untuk menentukannya dapat melalui 3 cara, yaitu menggunakan kalorimeter, menggunakan hukum Hess, dan menggunakan data energi ikatan.

a. Menghitung ΔH Reaksi dengan Menggunakan Kalorimeter

Kalorimeter merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk mengukur jumlah kalor reaksi (kalor yang diserap atau dilepas selama reaksi). Kalor yang diukur ini nantinya akan digunakan untuk menentukan ΔH reaksi.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, **etos kerja**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 3.2

Menentukan ΔH dengan Kalorimeter

Tujuan:

Menentukan besarnya kalor penetralan NaOH oleh HCl.

Alat:

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1. Gelas kimia 100 mL | 4. Pengaduk |
| 2. Kalorimeter | 5. Pembakar spiritus |
| 3. Termometer | |

Bahan:

- | | |
|---------------------|------------|
| 1. Larutan HCl 2 M | 3. Akuades |
| 2. Larutan NaOH 2 M | |

Cara Kerja:

1. Penentuan tetapan kalorimeter
 - a. Masukkan 25 mL akuades ke dalam kalorimeter, catat suhunya (T_1).
 - b. Panaskan 25 mL akuades yang lain sampai suhunya naik 10°C dari suhu kamar. Catat suhunya (T_2). Masukkan ke dalam kalorimeter.
 - c. Aduk sampai suhu konstan, catat suhunya (T_3).

2. Penentuan ΔH reaksi
 - a. Masukkan 50 mL larutan HCl 2 M ke dalam kalorimeter, catat suhunya (T_1).
 - b. Ambil 50 mL larutan NaOH 2 M. Atur sedemikian rupa sehingga suhunya (T_2) sama dengan suhu larutan HCl 2 M dalam kalorimeter.
 - c. Campurkan kedua larutan tersebut dalam kalorimeter, aduk sampai suhu konstan (T_3).
 - d. Catat suhu konstan dari campuran tersebut.
3. Lakukan kegiatan tersebut secara kelompok.

Hasil Pengamatan:

Pengamatan	Penentuan Tetapan Kalorimeter	Penentuan ΔH Reaksi
T_1
T_2
T_3
$\Delta T_1 = |T_3 - T_1 $
$\Delta T_2 = |T_2 - T_3 $

Pertanyaan dan Tugas:

1. Tentukan tetapan kalorimeter dengan langkah sebagai berikut.
 - a. Kalor yang diserap air dingin (q_1),
 $q_1 = \text{massa air dingin} \times \text{kalor jenis air} \times \Delta T_1$.
 - b. Kalor yang diserap air panas (q_2),
 $q_2 = \text{massa air panas} \times \text{kalor jenis air} \times \Delta T_2$.
 - c. Kalor yang diserap kalorimeter (q_3), $q_3 = q_2 - q_1$.
 - d. Tetapan kalorimeter (C) dihitung dari rumus:

$$C = \frac{q_3}{\Delta T_1} \text{ J K}^{-1}$$

Catatan:

Massa jenis air = 1 g mL^{-1} , kalor jenis air = $4,2 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

2. Hitung kalor reaksi dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 - a. Kalor yang diserap larutan (q_4),
 $q_4 = \text{massa larutan} \times \text{kalor jenis larutan} \times \Delta T$.

$$\text{Di mana } \Delta T = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2}$$

- b. Kalor yang dihasilkan kalorimeter (q_c), $q_c = C \times \Delta T$.
- c. Kalor yang dihasilkan sistem (q_s), $q_s = q_1 + q_2$.
- d. Kalor yang dihasilkan 1 mol larutan (ΔH)

$$\Delta H = \frac{q_s}{0,1} \text{ J mol}^{-1}$$

Catatan:

Massa jenis larutan = $1,03 \text{ g mL}^{-1}$, kalor jenis larutan = $3,69 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$, kenaikan suhu (ΔT) pada reaksi ini menghasilkan 0,1 mol NaCl dan 0,1 mol H_2O

3. Buat laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian!

Kemampuan suatu zat untuk menyerap atau melepas kalor berbeda-beda tergantung dari kalor jenis dan kapasitas kalornya. Kalor jenis merupakan jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 gram zat sebesar 1°C . Sebagai contoh, besi memiliki kalor jenis sebesar $0,4498 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Artinya, untuk menaikkan suhu 1 gram besi sebesar 1°C dibutuhkan kalor sebesar $0,4498 \text{ J}$. Jadi, besarnya kalor yang diserap atau dilepas suatu zat dirumuskan:

$$q = m \times c \times \Delta T$$

Keterangan:

- q = kalor yang diserap atau dilepas (J atau kJ)
 m = massa (g atau kg)
 c = kalor jenis zat ($\text{J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ atau $\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
 ΔT = perubahan suhu ($^\circ\text{C}$ atau K)

Kapasitas kalor merupakan jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu zat sebesar 1°C . Sebagai contoh, kapasitas kalor kalorimeter adalah $90 \text{ kJ }^\circ\text{C}^{-1}$. Artinya, untuk menaikkan suhu kalorimeter sebesar 1°C dibutuhkan kalor sebesar 90 kJ . Besarnya kalor yang diserap atau dilepas zat dirumuskan:

$$q = C \times \Delta T$$

Keterangan:

- q = kalor yang diserap atau dilepas (J atau kJ)
 C = kapasitas kalor ($\text{J }^\circ\text{C}^{-1}$ atau J K^{-1})
 ΔT = perubahan suhu ($^\circ\text{C}$ atau K)

Besarnya kapasitas kalor suatu zat dengan massa m dapat dirumuskan:

$$C = m \times c$$

Contoh soal 3.1:

Sebatang besi dengan massa 200 gram pada suhu kamar (25°C) dipanaskan sampai suhu 65°C . Jika diasumsikan kalor jenis besi $0,45 \text{ J g}^{-1}\text{C}^{-1}$, tentukan kalor yang diserap besi tersebut untuk menaikkan suhunya!

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}q &= m \times c \times \Delta T \\&= 200 \text{ g} \times 0,45 \text{ J g}^{-1}\text{C}^{-1} \times (65 - 25)^{\circ}\text{C} \\&= 3600 \text{ J}\end{aligned}$$

Jadi, kalor yang diserap besi untuk menaikkan suhunya sebesar 3600 J.

Kalorimeter digunakan untuk pengukuran kalor reaksi dengan ketelitian yang tinggi. Pada prinsipnya, kalorimeter terdiri dari suatu wadah tertutup, tempat reaksi berlangsung, dan dilengkapi pengaduk serta termometer. Kalor reaksi yang diserap atau dilepas akan mengakibatkan terjadinya perubahan suhu kalorimeter.

Dapat diasumsikan bahwa pada reaksi dalam kalorimeter tidak ada kalor yang keluar ke lingkungan (proses adiabatik). Dapat dituliskan:

$$\begin{aligned}q_{\text{reaksi}} + q_{\text{kalorimeter}} &= 0 \\q_{\text{reaksi}} &= -q_{\text{kalorimeter}}\end{aligned}$$

Besarnya kalor kalorimeter dapat ditentukan dari kapasitas kalor kalorimeter dan perubahan suhu kalorimeter, dirumuskan:

$$q_{\text{kalorimeter}} = C_{\text{kalorimeter}} \times \Delta T$$

Sehingga kalor reaksinya dapat dirumuskan:

$$\begin{aligned}q_{\text{reaksi}} &= -q_{\text{kalorimeter}} \\&= -C_{\text{kalorimeter}} \times \Delta T\end{aligned}$$

Keterangan:

$C_{\text{kalorimeter}}$ = kapasitas kalor kalorimeter ($\text{J}^{\circ}\text{C}^{-1}$ atau J K^{-1})

Nilai $C_{\text{kalorimeter}}$ biasanya ditentukan secara eksperimen, sebelum pengukuran menggunakan sampel standar atau pemanas listrik dan atau sudah ditentukan.

Pada ulasan di depan, telah kita ketahui bahwa perubahan ΔH merupakan perubahan energi pada sistem pada tekanan tetap.

$$\Delta H = \Delta E + P\Delta V$$

Untuk reaksi yang melibatkan zat padat atau zat cair, perubahan volumenya sangat kecil ($\Delta V \approx 0$). Sedangkan untuk reaksi yang melibatkan gas, meskipun perubahan volumenya dapat menjadi besar namun nilai $P\Delta V$ jauh lebih kecil daripada ΔE , sehingga pengaruh perubahan volume dapat diabaikan. Sehingga:

$$\begin{aligned}\Delta H &= \Delta E + P\Delta V \\ &\approx \Delta E\end{aligned}$$

Untuk reaksi yang berlangsung pada volume tetap, maka q_v akan sama dengan besarnya perubahan energi (ΔE). Sehingga:

$$\begin{aligned}\Delta H &= \Delta E \\ &\approx q_v\end{aligned}$$

Karena pengukuran kalor reaksi pada kalorimeter dilakukan pada tekanan tetap, maka:

$$q_v = q_{\text{kalorimeter}}$$

Sehingga perubahan entalpi (ΔH) pada kalorimeter adalah:

$$\Delta H = q_{\text{reaksi}}$$

Contoh soal 3.2:

Rudi hendak melakukan percobaan penentuan kalor reaksi dengan menggunakan kalorimeter.

- Untuk menentukan C kalorimeter digunakan sampel standar asam benzoat ($C_6H_5O_2$) sebanyak 0,1025 g. Pembakaran sampel menghasilkan ΔT sebesar $2,17^\circ\text{C}$. Jika ΔH° pembakaran asam benzoat adalah $-3227 \text{ kJ mol}^{-1}$, tentukan C kalorimeter! (Diketahui A_r : C = 12, H = 1, O = 16)
- Selanjutnya sebanyak 0,719 g asam oksalat ($C_2O_4H_2$) direaksikan dalam kalorimeter itu dengan oksigen berlebih menghasilkan $\Delta T = 1,60^\circ\text{C}$. Tentukan kalor reaksi pembakaran!

Penyelesaian:

- Menentukan $C_{\text{kalorimeter}}$

$$\begin{aligned}q_{\text{reaksi}} &= n_{\text{asam benzoat}} \times H^\circ_{\text{pembakaran}} \\ &= \frac{0,1025 \text{ g}}{(7 \times 12 + 6 \times 1 + 2 \times 16) \text{ g mol}^{-1}} \times -3227 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= -2,711 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Asumsikan proses adiabatik:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{reaksi}} + q_{\text{kalameter}} &= 0 \\
 q_{\text{reaksi}} &= -q_{\text{kalameter}} \\
 q_{\text{reaksi}} &= -C_{\text{kalameter}} \times \Delta T \\
 -2,711 \text{ kJ} &= -C_{\text{kalameter}} \times 2,17^\circ\text{C} \\
 C_{\text{kalameter}} &= \frac{2,711 \text{ kJ}}{2,17^\circ\text{C}} = 1,249 \text{ kJ } ^\circ\text{C}^{-1}
 \end{aligned}$$

- b. Kalor reaksi pembakaran 0,719 g asam oksalat ($\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2$)

Asumsikan proses adiabatik:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{reaksi}} + q_{\text{kalameter}} &= 0 \\
 q_{\text{reaksi}} &= -q_{\text{kalameter}} \\
 q_{\text{reaksi}} &= -C_{\text{kalameter}} \times \Delta T \\
 &= -1,249 \text{ kJ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 1,60^\circ\text{C} \\
 &= -1,998 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung ΔH Reaksi Menggunakan Hukum Hess

Pada tahun 1840, ahli kimia Jerman, *Germain Henry Hess*, memanipulasi persamaan termokimia untuk menghitung ΔH dalam sebuah hukum yang disebut Hukum Hess atau Hukum Penjumlahan Kalor. Ia menyatakan bahwa "jika suatu reaksi berlangsung dalam dua tahap reaksi atau lebih maka perubahan entalpi untuk reaksi tersebut sama dengan jumlah perubahan entalpi dari semua tahapan".

Beberapa prinsip perhitungan persamaan termokimia menurut hukum Hess:

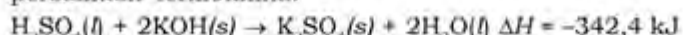
- 1) Jika suatu persamaan reaksi harus dibalik maka ubah tanda ΔH , misalnya:
 Reaksi : $\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -187,8 \text{ kJ}$
 Dibalik: $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +187,8 \text{ kJ}$
- 2) Jika pada penjumlahan reaksi, ada zat yang muncul pada kedua ruas persamaan dengan fase zat yang sama maka zat tersebut dapat dihilangkan. Misalnya:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) & \rightarrow & \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = +241,80 \text{ kJ} \\
 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) & \rightarrow & \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -285,85 \text{ kJ} \\
 \hline
 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) & \rightarrow & \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -44,05 \text{ kJ}
 \end{array}$$

* Contoh soal 3.3:

Gas HCl dapat diperoleh dari pemanasan H_2SO_4 dan KCl sesuai dengan reaksi: $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{l}) + 2\text{KCl}(\text{s}) \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{g})$

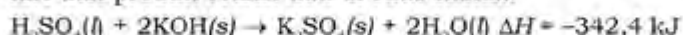
Tentukan ΔH reaksi menggunakan Hukum Hess, jika diketahui persamaan termokimia:



Penyelesaian:

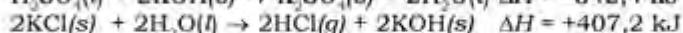
Langkah 1:

Susun persamaan reaksi sehingga semua pereaksi ada di ruas kiri dan produk reaksi ada di ruas kanan.



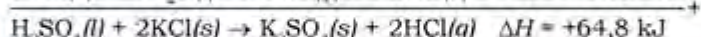
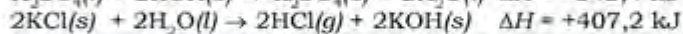
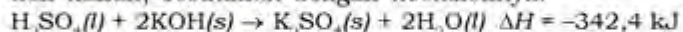
Langkah 2:

Periksa apakah ada zat-zat yang sama pada kedua reaksi. Jika ada maka samakan koefisiennya dengan cara mengalikan atau membagi dengan sebuah faktor. Nilai ΔH juga harus dikali atau dibagi.



Langkah 3:

Jumlahkan kedua reaksi. Hilangkan zat yang sama di ruas kiri dan kanan, sesuaikan dengan koefisiennya.



Perhitungan ΔH reaksi juga dapat dilakukan dengan cara menggunakan kalor reaksi pembentukan standar (ΔH_f°). Perhatikan persamaan reaksi kesetimbangan umum berikut.



$$\Delta H_{\text{reaksi}} = (c \times C + d \times D) - (a \times A + b \times B)$$

$$= \sum \Delta H_f^\circ (\text{produk reaksi}) - \sum \Delta H_f^\circ (\text{pereaksi})$$

Tabel 3.1 Harga ΔH_f° untuk Beberapa Zat

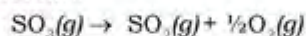
Zat	ΔH_f° (kJ)	Zat	ΔH_f° (kJ)	Zat	ΔH_f° (kJ)
$\text{Al}_2\text{O}_3(s)$	-1.669,7	$\text{CH}_3\text{OH}(g)$	-200,67	$\text{I}_2(s)$	0
$\text{BaCO}_3(s)$	-1.218,8	$\text{CH}_3\text{OH}(l)$	-238,66	$\text{KCl}(s)$	-435,89
$\text{B}_2\text{H}_6(g)$	31,4	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$	-277,65	$\text{MgCl}_2(s)$	-641,83

Zat	ΔH_f° (kJ)	Zat	ΔH_f° (kJ)	Zat	ΔH_f° (kJ)
B ₂ O ₃ (s)	-1.263,6	CaCO ₃ (s)	-1.207,1	MgO(s)	-601,83
Br(g)	111,75	CaO(s)	-635,5	MnO ₂ (s)	-519,7
Br ₂ (g)	30,71	Ca(OH) ₂ (s)	-986,6	N(g)	472,71
Br ₂ (l)	0	CuO(s)	-155,2	N ₂ (g)	0
BrCl(g)	14,7	Cu ₂ O(s)	-166,69	NH ₃ (g)	-46,19
C(g)	718,39	Fe ₂ O ₃ (s)	-822,16	NH ₄ Cl(s)	-315,38
C ₆₀ (s)	1,88	Fe ₃ O ₄ (s)	-1.117,13	NO(g)	90,37
C ₆₀ (l)	0	H(g)	217,94	N ₂ O(g)	81,55
CCl ₄ (g)	-106,7	H ₂ (g)	0	NO ₂ (g)	33,85
CO(g)	-110,54	HBr(g)	-36,23	N ₂ O ₄ (g)	9,67
CO ₂ (g)	-393,5	HCl(g)	-92,30	NOCl(g)	52,59
CH ₄ (g)	-74,85	HF(g)	-268,61	NaCl(s)	-410,99
CH ₂ Cl ₂ (g)	-82,0	HI(g)	25,94	O(g)	247,53
C ₂ H ₂ (g)	226,73	H ₂ O(g)	-241,84	O ₂ (g)	0
C ₂ H ₄ (g)	52,30	H ₂ O(l)	-285,85	O ₃ (g)	142,3
C ₂ H ₆ (g)	-84,68	H ₂ S(g)	-20,17	PCl ₃ (g)	-306,4
C ₃ H ₈ (g)	-103,85	HCHO(g)	-115,9	PCl ₅ (g)	-398,9
CaSO ₄ (s)	-1.432,7	He(g)	0	S ₈ (s)	0
Cl(g)	121,38	Hg(g)	60,84	SO ₂ (g)	-296,90
Cl ₂ (g)	0	Hg(l)	0	SO ₃ (g)	-395,2
C ₆ H ₆ (g)	82,93	I(g)	106,61	SO ₂ Cl ₂ (l)	-389
C ₆ H ₆ (l)	49,04	I ₂ (g)	62,26	ZnO(s)	-347,98

Sumber: General Chemistry (Principles & Structures)

Contoh soal 3.4:

Tentukan nilai ΔH reaksi untuk reaksi peruraian SO₃ sesuai persamaan reaksi berikut!



(Diketahui $\Delta H_f^\circ \text{SO}_3 = -395,2 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\Delta H_f^\circ \text{SO}_2 = -296,9 \text{ kJ mol}^{-1}$)

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ reaksi} &= \sum \Delta H_f^\circ \text{ produk reaksi} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ pereaksi} \\
 &= \{1 \times (-296,9) + \frac{1}{2} \times 0\} - \{1 \times (-395,2 \text{ kJ})\} \\
 &= -296,9 \text{ kJ} + 395,2 \text{ kJ} \\
 &= +98,3 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

c. **Menghitung ΔH Reaksi Menggunakan Data Energi Ikatan**

Energi ikatan atau energi disosiasi merupakan energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan dalam suatu molekul gas menjadi atom-atomnya dalam fase gas. Perhatikan tabel berikut!

Tabel 3.2 Energi Ikatan Rata-rata (D) dalam kJ mol^{-1}

Ikatan	Energi Ikatan	Ikatan	Energi Ikatan	Ikatan	Energi Ikatan
Br – F	237	Cl – F	253	N – Br	243
Br – Cl	218	Cl – Cl	242	O – H	463
Br – Br	193	F – F	155	O – O	146
C – C	348	H – F	567	O = O	495
C = C	614	H – Cl	431	O – F	190
C \equiv C	839	H – Br	366	O – Cl	203
C – H	413	H – I	299	O – I	234
C – N	293	H – H	436	S – H	339
C = N	615	I – Cl	208	S – F	327
C \equiv N	891	I – Br	175	S – Cl	253
C – O	358	I – I	151	S – Br	218
C = O	799	N – H	391	S – S	266
C \equiv O	1072	N – N	163	S = S	418
C – F	485	N = N	418	S = O	323
C – Cl	328	N \equiv N	941	Si – H	323
C – Br	276	N – O	201	Si – Si	226
C – I	240	N – F	272	Si – C	301
C – S	259	N – Cl	200	Si – O	368

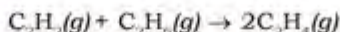
Sumber: General Chemistry (Principles & Structures)

Jumlah energi ikatan dalam suatu senyawa akan sama dengan perubahan entalpi reaksi (ΔH reaksi). Reaksi kimia merupakan reaksi yang melibatkan energi untuk memutuskan ikatan antaratom pereaksi dan pembentukan ikatan antaratom produk reaksi. ΔH reaksi dapat dituliskan:

$$\Delta H \text{ reaksi} = \Delta H (\text{energi ikatan pereaksi}) - \Delta H (\text{energi ikatan produk reaksi})$$

Contoh soal 3.5:

Gunakan data energi ikatan untuk menghitung ΔH reaksi dari reaksi berikut ini!



Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{reaksi}} &= \Delta H (\text{energi ikatan pereaksi}) - \Delta H (\text{energi ikatan produk reaksi}) \\
 &= (1 \text{ ikatan C} = \text{C} + 2 \text{ ikatan C} - \text{H}) + (1 \text{ ikatan C} - \text{C} + 6 \text{ ikatan C} - \text{H}) - 2(1 \text{ ikatan C} = \text{C} + 4 \text{ ikatan C} - \text{H}) \\
 &= (1 \times 839 + 2 \times 413) + (1 \times 348 + 6 \times 413) - 2(1 \times 614 + 4 \times 413) \text{ kJ} \\
 &= (1665 + 2844 - 4532) \text{ kJ} = -33 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas 3.2

- Sebanyak 1 gram propana (C_3H_8) dibakar dengan oksigen berlebih dalam suatu kalorimeter. Kalor yang dilepas reaksi menyebabkan kenaikan suhu kalorimeter dari 25°C menjadi $25,54^\circ\text{C}$. Jika kapasitas kalor kalorimeter adalah $97 \text{ kJ } ^\circ\text{C}^{-1}$, maka tentukan:
 - kalor reaksi,
 - ΔH untuk pembakaran 1 mol propana ($A_r \text{ C} = 12, \text{ H} = 1$), dan
 - persamaan termokimia pembakaran 1 mol propana!
- Fotosintesis pada tumbuhan berlangsung menurut reaksi:

$$6\text{CO}_2(g) + 6\text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(s) + 6\text{O}_2(g)$$
 Tentukan ΔH jika $\Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ adalah $-1,273 \text{ kJ mol}^{-1}$!
- Dengan menggunakan data energi ikatan, tentukan ΔH peruraian oktana (C_8H_{18}) sesuai reaksi:

$$\text{C}_8\text{H}_{18}(g) \rightarrow \text{C}_4\text{H}_8(g) + \text{C}_4\text{H}_{10}(g)$$

C. Kalor Pembakaran dalam Kehidupan

Suatu reaksi pembakaran akan dibebaskan sejumlah kalor yang dinyatakan sebagai perubahan entalpi pembakaran. Agar pembakaran dapat berlangsung, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi yaitu adanya bahan bakar, oksigen, dan kalor untuk memulai pembakaran. Berikut ini akan dijelaskan beberapa kalor pembakaran yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari.

1. Pembakaran Makanan dalam Tubuh

Makanan yang kita makan sehari-hari terdiri dari karbohidrat, protein, lemak, air, dan mineral. Dalam tubuh kita pembakaran berlangsung pada saat proses respirasi. Kalor yang dihasilkan digunakan untuk reaksi pembentukan biomolekul penyusun sel-sel tubuh dan aktivitas sehari-hari.

2. Pembakaran Batu Bara

Batu bara merupakan bahan bakar fosil dengan rantai karbon panjang. Batu bara banyak digunakan di industri, pembangkit listrik (Gambar 3.5), dan lain-lain. Penggunaan bahan bakar batu bara dapat menyebabkan polusi berat, untuk mengatasi hal tersebut batu bara direaksikan dengan uap air panas untuk menghasilkan suatu gas sintetis yang lebih ramah lingkungan. Kalor pembakaran batu bara berkisar 17 – 35 kJ/gram.



Sumber: CJI Encarta 2000
Gambar 3.5 Batu bara digunakan sebagai bahan bakar di sebuah pembangkit listrik

3. Pembakaran Gas Alam

Gas alam merupakan bahan bakar fosil dengan komponen utamanya alkana rantai pendek (C_1 sampai C_4) terutama metana. Gas alam banyak digunakan sebagai bahan bakar di industri dan rumah tangga. Hal itu dikarenakan pembakaran gas alam lebih efisien dan sedikit melepas polutan ke lingkungan. Kalor pembakaran gas alam, sekitar 49 kJ/gram.

4. Pembakaran Minyak Bumi

Minyak bumi merupakan bahan bakar fosil yang mengandung banyak senyawa hidrokarbon. Minyak bumi digunakan sebagai bahan bakar dalam kehidupan sehari-hari dalam bentuk bensin, kerosin, solar, dan lilin. Kalor pembakaran minyak bumi sekitar 45 kJ/gram.

5. Pembakaran Arang

Arang merupakan hasil pembakaran kayu tanpa keberadaan oksigen. Arang digunakan sebagai bahan bakar industri maupun rumah tangga. Kalor pembakaran arang sekitar 34 kJ/gram.

6. Pembakaran Hidrogen

Pembakaran hidrogen menghasilkan energi sekitar 142 kJ/gram. Hidrogen tidak terdapat di alam melainkan harus dibuat melalui proses tertentu. Hidrogen cair digunakan sebagai bahan bakar roket karena menghasilkan energi yang besar (Gambar 3.6),

Pembakaran Bahan Bakar yang Tidak Sempurna

Dalam kehidupan sehari-hari sering kita jumpai mobil atau bus yang berasap tebal. Hal itu dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna. Misalnya, pembakaran tidak sempurna bensin akan menghasilkan gas CO yang beracun dan energi yang relatif kecil jika dibandingkan dengan pembakaran yang sempurna (Gambar 3.7). Contoh reaksinya adalah sebagai berikut:

Pembakaran sempurna:



Pembakaran tidak sempurna:



Mengapa gas CO dapat bersifat racun bagi manusia? Ternyata gas CO dalam tubuh dapat berikatan dengan hemoglobin (Hb) dan ikatannya jauh lebih kuat jika dibandingkan ikatan oksigen dengan hemoglobin. Jika Hb banyak mengikat CO, maka pasokan oksigen ke sel-sel tubuh akan berkurang karena Hb merupakan alat transportasi utama oksigen dari paru-paru ke sel-sel tubuh. Dengan demikian tubuh bisa kekurangan oksigen yang lama-kelamaan dapat mengakibatkan kematian. Gas CO tidak dapat kita rasakan maupun kita lihat karena gas ini tidak berwarna dan tidak berbau.



Sumber: *CD Image*

Gambar 3.6 Hidrogen cair digunakan untuk bahan bakar roket



Sumber: *CD Image*

Gambar 3.7 Pembakaran sempurna pada mobil akan menghasilkan CO_2

Saat ini banyak digunakan konverter katalitik pada sistem buangan kendaraan bermotor yang berfungsi untuk meminimalisir buangan berupa CO menjadi CO_2 . Coba kalian sebutkan!

Rangkuman

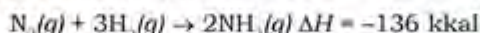
1. Sistem adalah bagian dari alam semesta yang diamati perubahan energinya.
2. Lingkungan adalah segala sesuatu dari alam semesta yang berada di luar sistem.
3. Entalpi (H) adalah jumlah energi yang terkandung dalam sistem dan kerja.
4. Perubahan entalpi (ΔH) adalah selisih antara entalpi akhir dengan entalpi awal.
5. Reaksi endoterm adalah reaksi yang menyerap kalor (ΔH positif).
6. Reaksi eksoterm adalah reaksi yang melepaskan kalor (ΔH negatif).
7. Perubahan entalpi standar dibedakan atas entalpi pembentukan standar, entalpi pembakaran standar, entalpi pengatoman standar, entalpi pelarutan standar, entalpi peruraian standar, entalpi peleburan standar, dan entalpi penguapan standar.
8. Kalor jenis merupakan jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 gram zat sebesar 1°C .
9. Kapasitas kalor merupakan jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu zat sebesar 1°C .
10. Perhitungan ΔH reaksi dapat menggunakan kalorimeter, hukum Hess, dan energi ikatan.

Uji Kompetensi

Kerjakan pada buku tugas kalian!

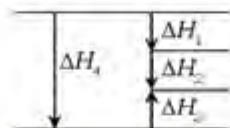
A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Diketahui reaksi termokimia:



Kalor reaksi pada pembentukan 3 gram NH_3 adalah . . .

- 12 kkal
 - 12 kkal
 - 24 kkal
 - 24 kkal
 - 6 kkal
2. Jika diketahui: $\text{H}_2(g) + \text{Br}_2(g) \rightarrow 2\text{HBr}(g) \quad \Delta H = -72 \text{ kJ}$
Untuk dapat menguraikan $11,2 \text{ dm}^3$ (pada STP) gas HBr menjadi H_2 dan Br_2 diperlukan kalor sebanyak . . .
- 9 kJ
 - 18 kJ
 - 36 kJ
 - 72 kJ
 - 144 kJ
3. Entalpi pembakaran $\text{C}_2\text{H}_4 = a \text{ kJ/mol}$. Jika entalpi pembentukan CO_2 dan H_2O berturut-turut ialah $b \text{ kJ/mol}$ dan $c \text{ kJ/mol}$, maka entalpi pembentukan C_2H_4 adalah . . .
- $a - b + c \text{ kJ/mol}$
 - $a - b - c \text{ kJ/mol}$
 - $a - 2b + 2c \text{ kJ/mol}$
 - $a + 2b + 2c \text{ kJ/mol}$
 - $-a + 2b + 2c \text{ kJ/mol}$
4. Jika diketahui:



Menurut hukum Hess = . . .

- $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3 - \Delta H_4$
- $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_4 - \Delta H_3$
- $\Delta H_4 = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$
- $\Delta H_4 = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$
- $\Delta H_3 = \Delta H_4 - \Delta H_1 + \Delta H_2$

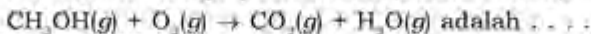
5. Diketahui:

$$\Delta H_f^\circ \text{CO}_2 = -344 \text{ kJ mol}^{-1}$$

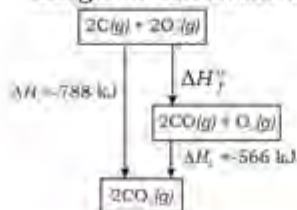
$$\Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O} = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{CH}_3\text{OH} = -284 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Perubahan entalpi pada reaksi (belum setara):



- A. -346 kJ
B. -632 kJ
C. -914 kJ
D. -1264 kJ
E. -1828 kJ
6. Jika diketahui ΔH pembentukan gas karbon dioksida, uap air dan gas propana berturut-turut: -94,1 kkal; -57 kkal; -24,8 kkal, maka banyaknya panas yang dibebaskan pada pembakaran 1 gram gas propana adalah
- A. 11,1 kkal
B. 122,2 kkal
C. 183,3 kkal
D. 22,2 kkal
E. 488,7 kkal
7. Diketahui energi ikatan:
N - H : 351 kJ mol⁻¹
N ≡ N : 945 kJ mol⁻¹
H - H : 433 kJ mol⁻¹
Kalor penguraian NH₃ menurut reaksi:
 $2\text{NH}_3(g) \rightarrow \text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g)$, adalah
- A. -69 kJ mol⁻¹
B. +69 kJ mol⁻¹
C. -138 kJ mol⁻¹
D. +138 kJ mol⁻¹
E. -276 kJ mol⁻¹
8. Perhatikan diagram tingkat energi reaksi karbon dengan oksigen membentuk CO₂!



Kalor pembentukan CO (ΔH_f°) adalah

- A. -222 kJ mol⁻¹
B. -111 kJ mol⁻¹
C. +111 kJ mol⁻¹
D. +222 kJ mol⁻¹
E. +333 kJ mol⁻¹

9. Suatu gas alam mengandung 44,8% volume CH_4 , 22,4% volume C_3H_8 , dan sisanya gas yang tidak dapat terbakar. Jika ΔH pembentukan CH_4 , C_3H_8 , CO_2 , dan H_2O berturut-turut: $-17,84$; $-24,80$; $-94,1$; $-68,3 \text{ kkal mol}^{-1}$, maka kalor yang dibebaskan pada pembakaran 100 L gas alam adalah ... (STP).
- 956,42 kkal
 - 743,48 kkal
 - 555,5 kkal
 - 273,2 kkal
 - 212,8 kkal
10. Diketahui:
- Kalor pembakaran siklopropana $(\text{CH}_2)_3(g) = -a \text{ kJ mol}^{-1}$
 Kalor pembentukan $\text{CO}_2(g) = -b \text{ kJ mol}^{-1}$
 Kalor pembentukan $\text{H}_2\text{O}(l) = -c \text{ kJ mol}^{-1}$
 Maka kalor pembentukan siklopropana (dalam kJ mol^{-1}) adalah ...
- $a - 3b - 3c$
 - $a - 3b + 3c$
 - $a + 3b - 3c$
 - $a + 3b + 3c$
 - $-a + 3b + 3c$

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Jika diketahui:
- $$\text{C}(s) + 2\text{S}(s) \rightarrow \text{CS}_2(s) \quad \Delta H = 82,35 \text{ kJ}$$
- $$\text{S}(s) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{SO}_2(s) \quad \Delta H = -297,62 \text{ kJ}$$
- $$\text{C}(s) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) \quad \Delta H = -408,80 \text{ kJ}$$
- Hitunglah perubahan entalpi pembakaran karbon disulfida, dengan reaksi: $\text{CS}_2(s) + 3\text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{SO}_2(s)$
2. Diketahui energi ikatan rata-rata:
- $\text{C} - \text{C} : 83,1 \text{ kkal mol}^{-1}$
 $\text{C} = \text{N} : 210,0 \text{ kkal mol}^{-1}$
 $\text{C} - \text{H} : 99,3 \text{ kkal mol}^{-1}$
 $\text{C} - \text{N} : 69,7 \text{ kkal mol}^{-1}$
 $\text{H} - \text{H} : 104,2 \text{ kkal mol}^{-1}$
 $\text{N} - \text{H} : 93,4 \text{ kkal mol}^{-1}$
- Hitunglah ΔH reaksi:
- $$\text{C}_2\text{H}_5 - \text{C} \equiv \text{N}(g) + 2\text{H}_2(g) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5 - \text{CH}_2 - \text{NH}_2(g)$$

3. Ke dalam tiga sel yang masing-masing berisi ion perak, ion seng, dan ion besi(III) yang disusun secara seri, dialirkan arus listrik sebanyak 0,6 F. Jika pada katode hanya terjadi reduksi dari logam-logam tersebut, maka:
- buatlah reaksi yang terjadi pada masing-masing sel,
 - hitung berat seng yang diendapkan,
 - hitung berat besi yang diendapkan!
- (A. : Ag = 108; Zn = 65; Fe = 56)
4. Diketahui reaksi:
- $$\text{C(s)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CO}_2\text{(g)} \quad \Delta H = -393,5 \text{ kJ}$$
- $$2\text{CO(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{CO}_2\text{(g)} \quad \Delta H = -221 \text{ kJ}$$
- dari reaksi di atas, tentukan:
- kalor reaksi pembentukan 2 mol CO,
 - diagram tingkat energi dari reaksi-reaksi tersebut!
5. Campuran gas CH_4 dan C_2H_6 yang volumenya 10 liter dibakar secara sempurna dengan gas oksigen. Jika diukur pada suhu dan tekanan yang sama, ternyata dihasilkan volume gas CO_2 sebanyak 24 liter, berapa volume masing-masing gas CH_4 dan C_2H_6 ?

Bab IV

Laju Reaksi

Sumber gambar: CD Image

Tujuan Pembelajaran

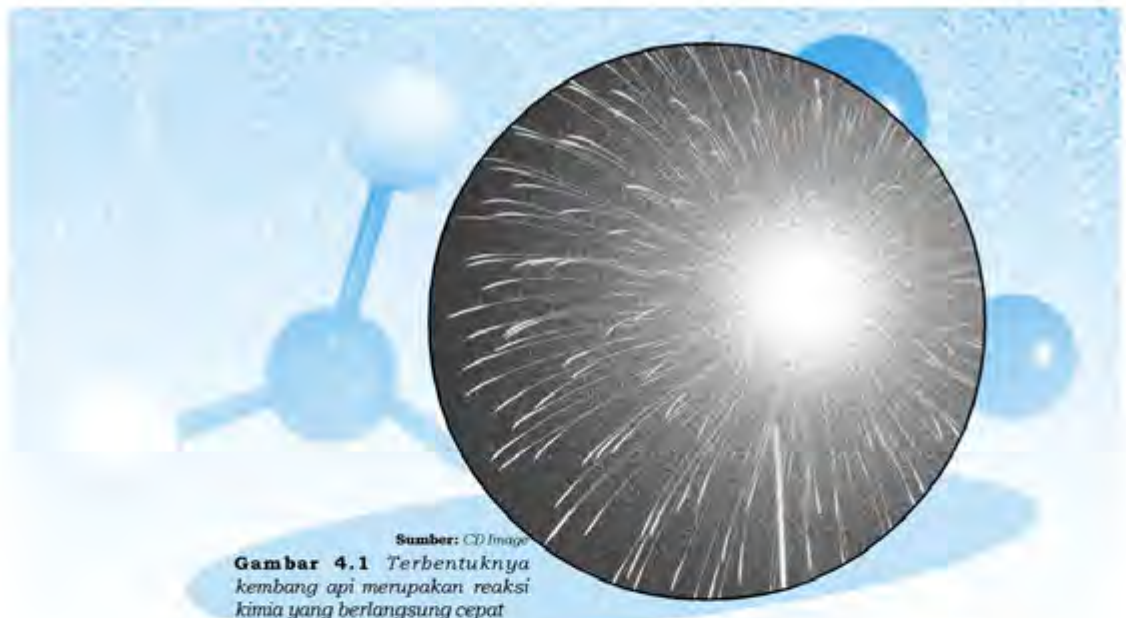
Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan laju reaksi dan menyelidiki faktor-faktor yang mempengaruhinya serta terapaninya dalam kehidupan sehari-hari.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Orde reaksi
2. Katalis
3. Tumbukan
4. Pereaksi
5. Produk



Sumber: CD Image

Gambar 4.1 Terbentuknya kembang api merupakan reaksi kimia yang berlangsung cepat

Seringkali kita mendengar istilah laju atau kecepatan dalam kehidupan kita sehari-hari, misalnya kecepatan mobil. Kecepatan mobil menyatakan panjangnya jarak yang ditempuh sebuah mobil dalam satuan waktu (jam, menit, detik). Pada reaksi kimia dikenal juga istilah laju reaksi yang dapat berlangsung cepat atau lambat. Manakah yang lebih cepat antara reaksi terbentuknya kembang api dengan perkaratan besi?

A. Konsep Laju Reaksi

Dalam suatu reaksi kimia terjadi perubahan pereaksi (reaktan) menjadi hasil reaksi (produk). Perubahan itu meliputi perubahan sifat dan perubahan jumlah. Perubahan sifat menyatakan berubahnya pereaksi menjadi hasil reaksi, sedangkan perubahan jumlah menyatakan banyaknya pereaksi yang berubah menjadi hasil reaksi atau banyaknya hasil reaksi yang terbentuk selama reaksi berlangsung. Jumlah pereaksi yang berubah atau jumlah hasil reaksi yang terbentuk dalam satuan waktu disebut laju reaksi.



Sumber: Doc. Penerbit

Gambar 4.2 Konsentrasi larutan kimia biasanya dalam kemolaran (M)

Laju reaksi dapat pula dinyatakan sebagai laju berkurangnya konsentrasi suatu pereaksi atau laju bertambahnya konsentrasi suatu produk. Konsentrasi merupakan hubungan kuantitatif antara zat terlarut dengan pelarut atau hubungan antara zat terlarut dengan larutan. Salah satu contoh satuan konsentrasi misalnya kemolaran. Kemolaran menyatakan hubungan kuantitatif antara jumlah mol zat terlarut dengan volume dalam liter larutan yang secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\text{Kemolaran (M)} = \frac{\text{jumlah mol zat terlarut}}{\text{volume dalam liter larutan}} = \frac{n}{V}$$

Keterangan:

M = kemolaran (mol L^{-1})

n = jumlah mol zat terlarut (mol)

V = volume dalam liter larutan (L)

Contoh soal 4.1:

Sebanyak 2,5 gram NaOH dilarutkan ke dalam akuades hingga volume larutan 100 mL. Tentukan kemolaran larutan tersebut!

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah mol NaOH} &= \frac{2,5 \text{ gram}}{40 \text{ gram mol}^{-1}} \\ &= 0,0625 \text{ mol} \end{aligned}$$

Kemolaran NaOH atau ditulis $[\text{NaOH}]$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} [\text{NaOH}] &= \frac{0,0625 \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} \\ &= 0,625 \text{ M} \end{aligned}$$

Jadi konsentrasi (kemolaran) NaOH adalah 0,625 M

1. Laju Reaksi Zat

Untuk lebih memahami tentang konsep laju reaksi, perhatikan contoh reaksi sederhana berikut!



Pada saat reaksi berlangsung terjadi laju pengurangan konsentrasi pereaksi A dan peningkatan konsentrasi produk reaksi B. Sehingga dapat dituliskan:



Sumber: Doc. Penerbit

Gambar 4.3 Rongsokan mobil mengalami karosi yang lambat di udara

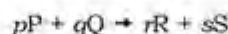
$$\text{Laju reaksi A: } v_A = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

$$\text{Laju reaksi B: } v_B = +\frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

Perbandingan koefisien reaksi A dan B adalah 1 : 1 sehingga laju reaksi A sama dengan laju reaksi B, dan dituliskan:

$$v_A = v_B$$

Bagaimana jika koefisien reaksinya tidak sama? Perhatikan reaksi berikut ini!



Untuk reaksi dengan perbandingan koefisien reaksi yang tidak sama, maka laju reaksi zat-zat yang terlibat dalam reaksi akan saling terkait menurut persamaan reaksi setaranya. Sehingga reaksi di atas dapat ditulis:

$$-\frac{1}{p} \frac{\Delta[P]}{\Delta t} = -\frac{1}{q} \frac{\Delta[Q]}{\Delta t} = +\frac{1}{r} \frac{\Delta[R]}{\Delta t} = +\frac{1}{s} \frac{\Delta[S]}{\Delta t}$$

atau

$$\frac{1}{p} v_P = \frac{1}{q} v_Q = \frac{1}{r} v_R = \frac{1}{s} v_S$$

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa jika dengan mengetahui laju reaksi suatu zat pada suatu reaksi kimia, maka laju reaksi zat lain yang terlibat dalam reaksi tersebut dapat diketahui.

Contoh soal 4.2:

Pada reaksi: $2\text{NO}(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{NO}_2(g)$. Jika diketahui laju pertambahan NO_2 adalah $0,1 \text{ M/dt}$ pada suhu $T^\circ\text{C}$, tentukan:

- perbandingan laju reaksi ketiga zat tersebut,
- laju pengurangan NO ,
- laju pengurangan O_2 .

Penyelesaian:

- Laju reaksi zat-zat dalam reaksi tersebut dapat dirumuskan:

$$-\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NO}]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = +\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} \quad \text{atau} \quad \frac{1}{2} v_{\text{NO}} = v_{\text{O}_2} = \frac{1}{2} v_{\text{NO}_2}$$

- Laju pengurangan NO (v_{NO}) adalah:

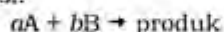
$$\begin{aligned} v_{\text{NO}} &= v_{\text{NO}_2} \\ &= 0,1 \text{ M dt}^{-1} \end{aligned}$$

c. Laju pengurangan (v_{O_2}) adalah:

$$\begin{aligned} v_{O_2} &= \frac{1}{2} v_{NO_2} \\ &= \frac{1}{2} \times 0,1 \text{ M dt}^{-1} \\ &= 0,05 \text{ M dt}^{-1} \end{aligned}$$

2. Laju Reaksi Keseluruhan

Pada ulasan di depan, kita sudah membahas laju reaksi per zat yang terlibat reaksi. Laju reaksi suatu zat diperoleh dari data eksperimen. Selanjutnya kita akan membahas laju reaksi keseluruhan pada waktu t yang merupakan fungsi dari konsentrasi zat-zat pereaksinya. Untuk reaksi:



Persamaan laju reaksi keseluruhan:

$$v = k [A]^p [B]^q$$

Keterangan:

v = laju reaksi (M dt^{-1})

k = tetapan laju reaksi

$[A][B]$ = konsentrasi pereaksi pada saat itu (M)

p, q = orde reaksi terhadap pereaksi (p dan q bukan koefisien reaksi, tetapi diperoleh dari data eksperimen. Kecuali jika ada tahap-tahap reaksi maka p dan q merupakan koefisien reaksi tahap paling lambat)

Pada persamaan laju reaksi di atas terdapat besaran tetapan laju reaksi dan orde reaksi.

a. Tetapan Laju Reaksi (k)

Tetapan laju reaksi (k) bergantung pada suhu dan jenis reaksi yang berlangsung dengan satuan yang tergantung dari orde reaksi keseluruhan dan persamaan laju reaksi.

b. Orde Reaksi

Orde reaksi merupakan bilangan pangkat yang menyatakan besarnya pengaruh konsentrasi zat pereaksi



Grafik 4.1 Reaksi orde 0, laju reaksi tidak dipengaruhi konsentrasi zat.



Grafik 4.2 Reaksi orde 1, laju reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi zat

terhadap laju reaksi. Perhatikan kembali persamaan laju reaksi di atas!

$$v = k [A]^p [B]^q$$

Orde reaksi suatu reaksi kimia merupakan orde reaksi keseluruhan, sehingga:

$$\begin{aligned}\text{Orde reaksi keseluruhan} &= \Sigma \text{ orde reaksi zat} \\ &= p + q\end{aligned}$$

Orde reaksi biasanya merupakan bilangan bulat 0, 1, 2, 3, ..., dan seterusnya. Tetapi ada juga orde reaksi yang berupa bilangan pecahan ataupun negatif.

3. Penentuan Persamaan Laju Reaksi Berdasarkan Data Eksperimen

Bagaimana cara menentukan persamaan laju reaksi suatu reaksi kimia? Perhatikan reaksi antara gas NO dan Br₂ berikut!



Pada suhu 273°C diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil Eksperimen Laju Reaksi antara NO dengan Br₂

Percobaan	Konsentrasi Awal (mol L ⁻¹)		Laju Reaksi Awal (mol L ⁻¹ dt ⁻¹)
	NO	Br ₂	
1	0,1	0,1	12
2	0,1	0,2	24
3	0,2	0,2	48

Dari percobaan 1 dan 2 terlihat bahwa jika [Br₂] diperbesar menjadi dua kalinya, sedangkan [NO] tetap, maka laju reaksi akan menjadi dua kali lipat. Dapat dituliskan:

$$\begin{aligned}\frac{v_2}{v_1} &= \frac{k[\text{NO}]^x [\text{Br}_2]^y}{k[\text{NO}]^x [\text{Br}_2]^y} \\ \frac{24 \text{ mol L}^{-1} \text{ dt}^{-1}}{12 \text{ mol L}^{-1} \text{ dt}^{-1}} &= \frac{k(0,1)^x (0,2)^y}{k(0,1)^x (0,1)^y} \\ 2 &= 2^y \\ y &= 1\end{aligned}$$

Dari percobaan 2 dan 3 terlihat bahwa jika $[\text{NO}]$ diperbesar menjadi dua kalinya, sedangkan $[\text{Br}_2]$ tetap, maka laju reaksi akan menjadi dua kali lipat. Dapat dituliskan:

$$\begin{aligned}\frac{v_3}{v_2} &= \frac{k[\text{NO}]^x [\text{Br}_2]^y}{k[\text{NO}]^x [\text{Br}_2]^y} \\ \frac{48 \text{ mol L}^{-1} \text{ dt}^{-1}}{24 \text{ mol L}^{-1} \text{ dt}^{-1}} &= \frac{k(0,2)^x (0,2)^y}{k(0,1)^x (0,2)^y} \\ 2 &= 2^x \\ x &= 1\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, maka persamaan laju reaksinya:

$$v = k[\text{NO}] [\text{Br}_2]$$

Tetapan laju reaksinya: $k = \frac{v}{[\text{NO}][\text{Br}_2]}$

Perhitungan nilai k :

Percobaan 1:

$$k = \frac{12 \text{ mol L}^{-1} \text{ dt}^{-1}}{0,1 \text{ mol L}^{-1} \times 0,1 \text{ mol L}^{-1}} = 1200 \text{ mol}^{-1} \text{ L dt}^{-1}$$

Percobaan 2:

$$k = \frac{24 \text{ mol L}^{-1} \text{ dt}^{-1}}{0,1 \text{ mol L}^{-1} \times 0,2 \text{ mol L}^{-1}} = 1200 \text{ mol}^{-1} \text{ L dt}^{-1}$$

Percobaan 3:

$$k = \frac{48 \text{ mol L}^{-1} \text{ dt}^{-1}}{0,2 \text{ mol L}^{-1} \times 0,2 \text{ mol L}^{-1}} = 1200 \text{ mol}^{-1} \text{ L dt}^{-1}$$

Jadi, harga tetapan laju reaksinya adalah **1200 mol⁻¹ L dt⁻¹**

Contoh soal 4.3:

Reaksi gas NO dan H₂: $\text{NO}(g) + \text{H}_2(g) \rightarrow \text{N}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$, diperoleh data sebagai berikut.

Percobaan	$[\text{NO}](\text{M})$	$[\text{H}_2](\text{M})$	Laju Reaksi (M dt ⁻¹)
1	0,6	0,1	3,2
2	0,6	0,3	9,6
3	0,2	0,5	1,0
4	0,4	0,5	4,0

Tentukan:

- a. persamaan laju reaksinya,
- b. tetapan laju reaksinya,
- c. orde reaksinya!

Penyelesaian:

- a. Persamaan laju reaksi
Lihat percobaan 1 dan 2

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k[NO]^x[H_2]^y}{k[NO]^x[H_2]^y}$$

$$\frac{9,6 \text{ Mdt}^{-1}}{3,2 \text{ Mdt}^{-1}} = \frac{k(0,6)^x(0,3)^y}{k(0,6)^x(0,1)^y}$$

$$3 = 3^y$$

$$y = 1$$

Jadi, $v = k[NO]^2[H_2]$

- b. Tetapan laju reaksi (k)
Perhatikan percobaan 1

$$k = \frac{v}{[NO]^2[H_2]}$$

$$k = \frac{3,2 \text{ Mdt}^{-1}}{(0,6 \text{ M})^2 \times 0,1 \text{ M}} = 88,89 \text{ M}^{-1}\text{dt}^{-1}$$

- c. Orde reaksi keseluruhan = $2 + 1 = 3$

Lihat percobaan 3 dan 4

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k[NO]^x[H_2]^y}{k[NO]^x[H_2]^y}$$

$$\frac{4,0 \text{ Mdt}^{-1}}{1,0 \text{ Mdt}^{-1}} = \frac{k(0,4)^x(0,5)^y}{k(0,2)^x(0,5)^y}$$

$$4 = 2^x$$

$$x = 2$$

Kerjakan tugas berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, mengembangkan **kecakapan personal**, dan **akademik** kalian!

Tugas 4.1

1. Reaksi peruraian sulfuril klorida (SO_2Cl_2) menjadi SO_2 dan Cl_2 berlangsung menurut reaksi: $\text{SO}_2\text{Cl}_2(g) \rightarrow \text{SO}_2(g) + \text{Cl}_2(g)$
Berdasarkan percobaan diperoleh data sebagai berikut.

Percobaan	Konsentrasi SO_2Cl_2 Awal (mol L^{-1})	Laju Pembentukan SO_2 Awal ($\text{mol L}^{-1} \text{dt}^{-1}$)
1.	0,10	$1,10 \times 10^{-6}$
2.	0,20	$2,20 \times 10^{-6}$
3.	0,30	$3,25 \times 10^{-6}$

- Tentukan persamaan laju reaksinya!
 - Tentukan tetapan laju reaksinya!
 - Berapa orde reaksinya?
2. Reaksi : $\text{H}_2(g) + \text{I}_2(g) \rightarrow 2\text{HI}(g)$, berlangsung melalui 2 tahap.
 Tahap 1 : $\text{I}_2(g) \rightarrow 2\text{I}(g)$ (cepat)
 Tahap 2 : $\text{H}_2(g) + 2\text{I}(g) \rightarrow 2\text{HI}(g)$ (lambat)
 Tentukan persamaan laju reaksinya!

B. Faktor-faktor yang Menentukan Laju Reaksi

Pernahkah kalian menyimpan susu kemasan dalam lemari es? Suhu yang dingin di dalam lemari es akan memperlambat laju pengrusakan susu sehingga susu yang disimpan dalam lemari es akan lebih tahan lama daripada susu yang diletakkan di tempat terbuka.

Apakah kalian pernah melihat nyala kembang api pada perayaan hari-hari besar, misalnya tahun baru? Reaksi oksidasi kembang api itu sangat cepat. Ada 4 faktor yang menentukan laju reaksi, yaitu sifat dan keadaan zat, konsentrasi, suhu, serta katalis.

1. Sifat dan Keadaan Zat

Sifat kimia pereaksi merupakan hal utama yang menentukan laju reaksi. Sifat kimia logam Na yang sangat reaktif dapat menjelaskan mengapa logam Na di tempat terbuka jauh lebih mudah bereaksi dengan O_2 dan uap air dibandingkan dengan logam Fe yang lebih lambat. Selain itu, reaksi senyawa ion pada umumnya berlangsung lebih cepat daripada senyawa kovalen.

Keadaan zat yaitu luas permukaan sentuh, juga mempengaruhi laju reaksi suatu zat. Hal itu dapat menjelaskan mengapa bila kita merebus air dengan arang kayu lebih hemat menggunakan arang yang ukurannya besar daripada arang yang lebih halus. Arang yang halus akan memberikan kesempatan yang jauh lebih besar pada setiap atom karbon untuk bersentuhan dengan



Sumber: Dok. Peneliti

Gambar 4.4 Logam Na direaksikan dengan air menimbulkan efek ledakan

oksigen di udara. Pada sistem heterogen, pengaruh luas permukaan sentuh sangat berarti. Dalam sistem homogen, terjadinya sentuhan antara zat-zat yang bereaksi terbagi merata dalam fase gas atau cair sehingga faktor luas permukaan sentuh tidak mempunyai pengaruh apa-apa.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja**, **berpikir kritis**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 4.1

Pengaruh Luas Bidang Sentuh terhadap Laju Reaksi

Tujuan:

Menentukan ketergantungan laju reaksi terhadap luas permukaan sentuh.

Alat:

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1. Timbangan analitik | 5. Stopwatch |
| 2. Alu dan lumpang | 6. Erlenmeyer 100 mL |
| 3. Gelas ukur 25 mL | 7. Gelas arloji |
| 4. Spatula | 8. Balon karet |

Bahan:

1. Larutan HCl 1 M
2. CaCO_3 (pualam)

Cara Kerja:

1. Siapkan 2 buah erlenmeyer 100 mL dan isi masing-masing erlenmeyer dengan 25 mL larutan HCl 1 M.
2. Siapkan 2 buah balon karet, pada balon pertama masukkan 0,5 gram keping pualam dan pada balon kedua masukkan 0,5 gram pualam yang sudah digerus halus.
3. Pasang dan ikat balon pada masing-masing mulut erlenmeyer. Jaga jangan sampai pualam masuk ke erlenmeyer.
4. Reaksikan pualam tadi dengan cara menjatuhkan pualam dari dalam balon karet ke dalam erlenmeyer. Catat waktu yang dibutuhkan untuk menegakkan balon.
5. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok!

Hasil Pengamatan:

Asam Klorida (M)	CaCO ₃ (gram)	Waktu (detik)	1/waktu (detik ⁻¹)
1	keping	.....	.....
1	serbuk	.....	.....

Pertanyaan dan Tugas:

1. Tuliskan reaksi yang terjadi!
2. Bagaimana pengaruh luas bidang sentuh terhadap laju reaksi?
3. Buatlah laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian!

2. Konsentrasi

Pernahkah kalian melihat orang memasak dengan tungku? Mengapa tungku harus dikipasi atau ditiup? Meniupkan udara di permukaan arang akan menaikkan konsentrasi oksigen di atas permukaan arang sehingga tungku akan menyala. Laju reaksi umumnya akan naik dengan bertambahnya konsentrasi pereaksi dan akan turun dengan berkurangnya konsentrasi.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja, berpikir kritis**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 4.2**Pengaruh Konsentrasi terhadap Laju Reaksi****Tujuan:**

Menentukan ketergantungan laju reaksi terhadap konsentrasi pereaksi.

Alat:

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. Timbangan analitik | 5. Stopwatch |
| 2. Erlenmeyer 100 mL | 6. Gelas arloji |
| 3. Gelas ukur 25 mL | 7. Balon karet |
| 4. Spatula | |

Bahan:

1. Larutan HCl 0,5 M; 1 M; 3 M
2. CaCO₃ (pualam)

Cara Kerja:

1. Siapkan 3 buah erlenmeyer 100 mL dan isi masing-masing erlenmeyer dengan 25 mL larutan HCl 0,5 M; 1 M; 3 M.
2. Siapkan 3 buah balon karet dan isi masing-masing balon dengan 0,5 gram keping pualam.
3. Pasang dan ikat balon pada masing-masing mulut erlenmeyer. Jaga jangan sampai pualam masuk ke erlenmeyer.
4. Reaksikan pualam tadi dengan cara menjatuhkan pualam dari dalam balon karet ke dalam erlenmeyer. Catat waktu yang dibutuhkan untuk menegakkan balon.
5. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.

Hasil Pengamatan:

Asam Klorida (M)	CaCO ₃ (gram)	Waktu (detik)	1/waktu (detik ⁻¹)
0,5	0,5	.....	.....
1	0,5	.....	.....
3	0,5	.....	.....

Pertanyaan dan Tugas:

1. Tuliskan reaksi yang terjadi!
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi?
3. Buatlah grafik laju reaksi (sebagai absis) vs konsentrasi (sebagai ordinat)!
4. Buatlah laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian.

3. Suhu

Dalam kehidupan sehari-hari dapat kita lihat pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Pernahkah kalian menggoreng telur? Apa yang terjadi bila dibandingkan dengan merebus telur? Mengapa demikian? Minyak bila dipanaskan suhunya akan lebih tinggi dibandingkan air yang mendidih. Hal itu disebabkan telur yang digoreng lebih cepat matang bila dibandingkan dengan yang direbus. Hal yang sama bila kita menyimpan makanan di lemari es. Makanan akan lebih tahan lama bila disimpan dalam lemari es. Hal itu dikarenakan suhu yang rendah akan mengurangi laju reaksi pembusukan.



Sumber: Dok. Penerbit

Gambar 4.5 Menyimpan makanan dalam lemari es akan mengurangi laju reaksi pembusukan makanan.

Sebagian besar reaksi kimia akan lebih cepat bila dilakukan pada suhu tinggi. Para ahli menemukan bahwa sebagian besar laju reaksi akan meningkat dua kali lipat bila suhu dinaikkan 10°C . Hal ini dapat dijelaskan bahwa molekul-molekul semakin bergerak dengan cepat seiring kenaikan suhu sehingga tumbukan menjadi lebih sering. Selain itu molekul-molekul juga memiliki energi yang cukup sehingga dampak tumbukan lebih besar. Akibatnya semakin banyak molekul yang bereaksi.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja, berpikir kritis**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 4.3

Menentukan Pengaruh Suhu terhadap Laju Reaksi

Tujuan:

Menentukan pengaruh suhu reaksi terhadap laju reaksi.

Alat:

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 1. Erlenmeyer | 5. Termometer |
| 2. Pembakar Bunsen | 6. Tabung reaksi |
| 3. Kaki tiga dan kasa | 7. Stopwatch |
| 4. Kertas putih dan spidol | |

Bahan:

1. Larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
2. Larutan HCl 1 M

Cara Kerja:

1. Sediakan 4 buah erlenmeyer. Isi masing-masing erlenmeyer dengan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ sebanyak 50 mL.
2. Siapkan 4 buah tabung reaksi dan isi masing-masing tabung reaksi dengan larutan HCl sebanyak 5 mL.
3. Siapkan kertas putih dan buat tanda silang di atasnya dengan spidol.
4. Ambil sebuah erlenmeyer yang berisi larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dan ukur suhu larutan.
5. Letakkan erlenmeyer di atas tanda silang, tambahkan 5 mL HCl . Catat waktu yang diperlukan sampai tanda silang hilang.
6. Ambil erlenmeyer kedua, panaskan sampai suhu 35°C .

- Letakkan erlenmeyer di atas tanda silang, tambahkan 5 mL HCl. Catat waktu yang diperlukan sampai tanda silang hilang.
- Lakukan langkah ke-5 untuk erlenmeyer 3 dan 4 dengan selisih suhu 10°C .
- Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.

Hasil Pengamatan:

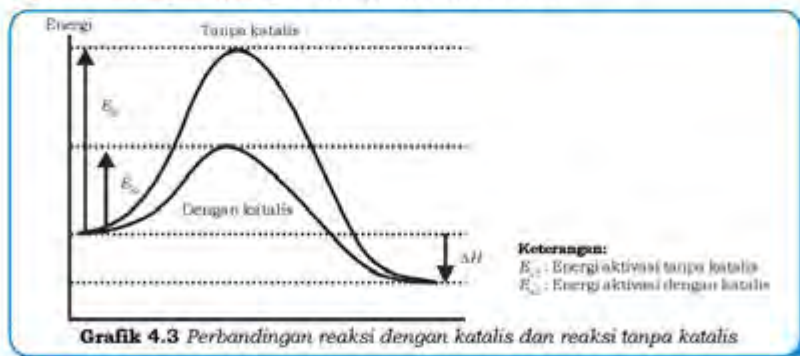
Erlemeyer	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)	HCl (mL)	Waktu (detik)
1	Suhu kamar	50	5	.....
2	35	50	5	.....
3	45	50	5	.....
4	55	50	5	.....

Pertanyaan dan Tugas:

- Tuliskan reaksi yang terjadi!
- Bagaimana pengaruh suhu terhadap laju reaksi?
- Buatlah laporan percobaan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian!

4. Katalis

Katalis adalah zat yang mengubah kecepatan reaksi tanpa zatnya mengalami perubahan kimia yang permanen. Keterlibatan katalis dalam reaksi tidak memberikan tambahan energi kepada molekul-molekul yang bereaksi, tetapi memberikan jalan baru untuk berlangsungnya pemutusan dan pembentukan ikatan dengan energi aktivasi yang rendah. **Energi aktivasi** adalah energi minimum yang diperlukan agar tercapai kompleks teraktivasi.



Katalis yang mempercepat laju reaksi disebut katalis positif atau biasa disebut *katalis* saja. Sedangkan katalis yang memperlambat laju reaksi disebut katalis negatif atau disebut *inhibitor*.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja, berpikir kritis**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 4.4

Menentukan Pengaruh Katalis terhadap Laju Reaksi

Tujuan:

Menentukan pengaruh katalis terhadap laju reaksi suatu reaksi kimia.

Alat:

1. Tabung reaksi
2. Spatula
3. Penjepit
4. Pembakar Bunsen

Bahan:

1. H_2O_2 (hidrogen peroksida)
2. MnO_2 (merupakan katalis)

Cara Kerja:

1. Siapkan 2 buah tabung reaksi. Isi masing-masing tabung dengan H_2O_2 .
2. Tambahkan sedikit MnO_2 ke dalam salah satu tabung reaksi.
3. Lakukan uji nyala api.
4. Amati nyala api yang terjadi. Catat perbandingan nyala api pada tabung reaksi 1 dan 2.
5. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.

Hasil Pengamatan:

Tabung Reaksi	Larutan	Pengamatan
1	H_2O_2	.....
2	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{MnO}_2$	.....

Pertanyaan dan Tugas:

1. Tuliskan reaksi yang terjadi!
2. Bagaimana pengaruh MnO_2 (katalis) terhadap laju reaksi?
3. Buatlah laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian.

C. Teori Tumbukan

Teori tumbukan menggambarkan pertemuan partikel-partikel pereaksi sebagai suatu tumbukan. Tumbukan yang dapat menghasilkan partikel-partikel produk reaksi disebut *tumbukan efektif*. Untuk mendapatkan tumbukan yang efektif maka orientasi atau arah tumbukan harus tepat. Selain itu, partikel-partikel yang bertumbukan harus mempunyai energi kinetik yang cukup agar dapat melewati energi aktivasi.

Energi kinetik minimum yang diperlukan partikel untuk menghasilkan tumbukan efektif disebut *energi aktivasi* (E_a). Nilai E_a untuk setiap reaksi dapat dinyatakan oleh suatu diagram energi potensial. Pada diagram ini, sumbu y menyatakan perubahan energi potensial (E_p), sedang sumbu x (koordinat reaksi) menyatakan sejauh mana pereaksi telah berubah menjadi produk.

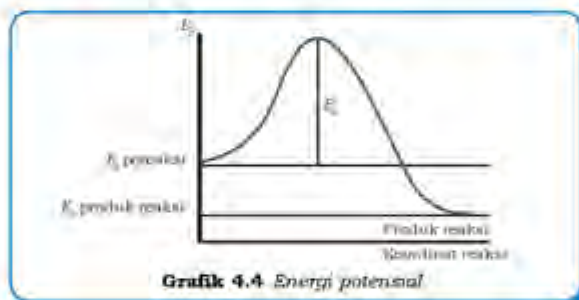
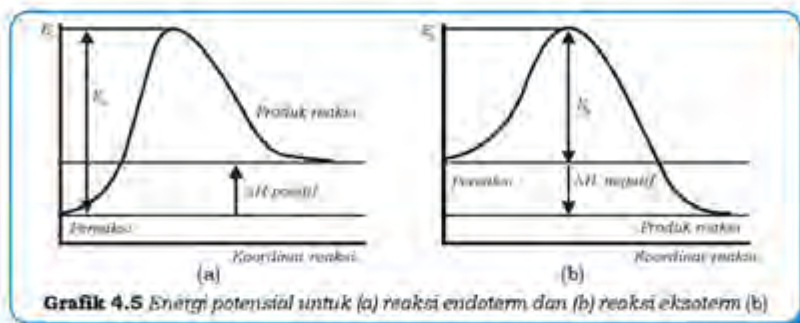


Diagram energi potensial dapat digunakan untuk menggambarkan perubahan entalpi reaksi (ΔH). Dalam hal ini, ΔH merupakan selisih E_p produk reaksi dengan E_p pereaksi.

1. Reaksi endoterm (ΔH positif) : E_p produk reaksi $>$ E_p pereaksi
2. Reaksi eksoterm (ΔH negatif) : E_p produk reaksi $<$ E_p pereaksi

Perhatikan diagram energi potensial untuk reaksi endoterm dan eksoterm berikut!



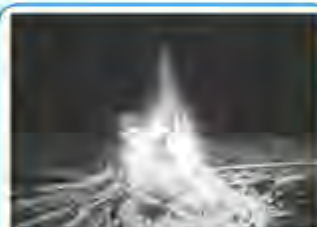
Dari uraian di atas, dapat dipahami bahwa semua tumbukan tidak semuanya menghasilkan reaksi. Hanya tumbukan efektif saja, yaitu tumbukan yang orientasinya tepat dan memiliki energi cukup, yang dapat menghasilkan reaksi.

Bagaimana faktor luas permukaan sentuh, konsentrasi, suhu, dan katalis mempengaruhi laju reaksi? Untuk lebih jelasnya, perhatikan uraian berikut.

1. Luas Permukaan Sentuh

Luas permukaan sentuh terkait dengan mudah tidaknya partikel-partikel pereaksi bertemu. Semakin luas permukaan sentuhan, maka semakin besar kemungkinan partikel-partikel pereaksi bertumbukan. Dengan demikian kemungkinan terjadi reaksi semakin besar dan kecepatan reaksinya bertambah.

Bagaimana penerapannya dalam kehidupan sehari-hari? Misalnya, bila kalian memasak air dengan arang kayu sebaiknya memilih arang yang ukurannya besar karena tahan lama. Arang yang halus akan memberikan kesempatan yang jauh lebih besar pada setiap atom karbon untuk bersentuhan dengan oksigen di udara sehingga akan cepat habis. Pembakaran kayu api unggun akan lebih lama bila menggunakan balok kayu (Gambar 4.6).

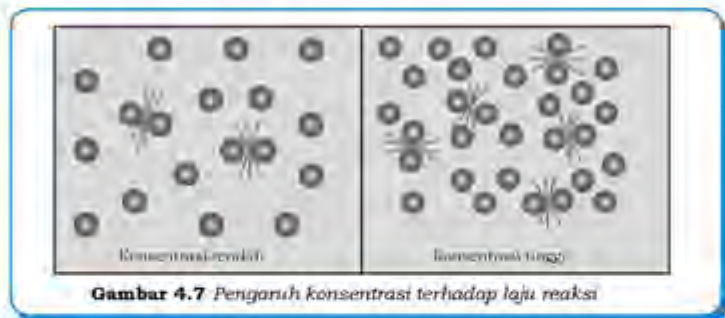


Sumber: Dok. Penerbit

Gambar 4.6 Supaya pembakaran kayu tahan lama, digunakan balok kayu untuk mengurangi luas permukaan sentuh

2. Konsentrasi

Konsentrasi merupakan kepekatan suatu zat. Pengaruh konsentrasi berhubungan dengan jumlah partikel yang bertumbukan. Perhatikan Gambar 4.7 berikut. Apabila konsentrasi pereaksi besar, maka jumlah partikel-partikel pereaksi akan besar pula. Dengan demikian, jarak antara partikel akan menjadi dekat sehingga jumlah tumbukan efektif akan meningkat yang berarti laju reaksi akan meningkat pula.



Gambar 4.7 Pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi

3. Suhu

Pengaruh suhu reaksi pada laju reaksi berkaitan dengan nilai energi kinetik partikel. Apabila suhu reaksi dinaikkan, maka makin banyak partikel yang memiliki energi kinetik minimum lebih besar daripada energi aktivasi (E_a). Hal ini menyebabkan jumlah tumbukan efektif bertambah sehingga laju reaksi semakin cepat.

4. Katalis

Pengaruh katalis terhadap laju reaksi berkaitan dengan energi aktivasi reaksi, E_a . Penggunaan katalis dalam reaksi kimia memberikan suatu mekanisme reaksi alternatif dengan harga E_a yang lebih rendah jika dibandingkan harga E_a reaksi tanpa katalis. Dengan harga E_a yang rendah, banyak partikel yang memiliki energi kinetik yang cukup sehingga jumlah tumbukan semakin banyak. Hal itu mengakibatkan laju reaksi semakin cepat. Bagaimana jalan reaksi dapat diubah dengan adanya katalis?

Perhatikan diagram energi untuk reaksi umum $A + B \rightarrow AB$ dengan katalis C berikut!

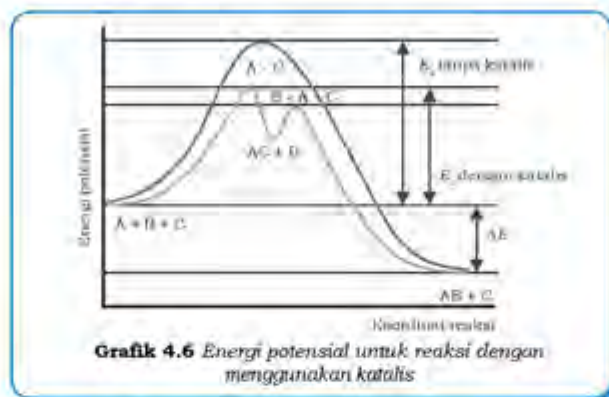


Diagram di atas dapat dijelaskan sebagai berikut.

Reaksi : $A + B \rightarrow AB$ (reaksi sangat lambat), energi aktivasi tinggi sehingga AB terbentuk perlahan-lahan.

Reaksi : $A + C \rightarrow AC$ (reaksi cepat)

$AC + B \rightarrow AB + C$ (reaksi cepat), energi aktivasi rendah sehingga AB terbentuk cepat.

Perhatikan bahwa katalis C tidak mengalami perubahan kimia yang permanen, bila telah dipisahkan dari produk reaksi maka zat (katalis) ini dapat digunakan lagi. Selain itu, dari diagram di atas dapat diketahui bahwa katalis menurunkan energi aktivasi (E_a) tetapi tidak mengubah ΔE reaksi.

Berdasarkan fase katalis dan zat-zat pereaksinya, katalis dibedakan menjadi 2, antara lain:

a. Katalis Homogen

Katalis homogen adalah katalis yang sama fasenya dengan zat pereaksinya. Sebagai contoh penggunaan katalis homogen adalah reaksi antara asam asetat dan etil alkohol yang menghasilkan etil asetat. Reaksi ini dikatalis oleh asam kuat seperti HCl dan H_2SO_4 .



Tanpa adanya katalis, diperlukan waktu berminggu-minggu untuk memperoleh etil asetat yang maksimal. Dengan adanya katalis asam, hasil yang maksimal dapat dicapai dalam beberapa jam.

b. Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang berbeda fasenya dengan zat pereaksinya, misalnya serbuk V_2O_5 digunakan sebagai katalis dalam pembentukan H_2SO_4 melalui proses kontak.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan produktivitas** kalian!

Tugas 4.2

1. Ketika membuat es teh, kalian akan memasukkan es batu setelah melarutkan gula dalam teh panas. Mengapa tidak sebaliknya?
2. Bandeng yang dimasak dalam panci presto akan menghasilkan daging yang lunak. Bagaimana prinsip kerja panci presto tersebut?
3. Mengapa daging sapi sebelum dimasak dipotong/diiris kecil-kecil terlebih dahulu? Jelaskan!

D. Penerapan Laju Reaksi dalam Kehidupan

Sebenarnya, pada kehidupan sehari-hari kita sudah menerapkan konsep laju reaksi tapi kita tidak menyadarinya, misalnya pada saat kita melarutkan gula dalam air panas. Bagi yang memiliki mobil, di dalam karburator mobil, bensin dikabutkan agar luas permukaan sentuhnya menjadi besar sehingga laju pembakaran bensin dalam silinder mesin berlangsung cepat. Selain itu, semua makhluk hidup memerlukan zat katalitik yang dikenal dengan enzim.

Penggunaan konsep laju reaksi yang maksimal dilakukan dalam industri untuk **penghematan biaya operasional**. Penggunaan katalis dalam industri merupakan hal yang biasa dilakukan. Beberapa contoh katalis dan penggunaannya dapat dilihat pada tabel berikut.

Info Kimia

Enzim sering dimanfaatkan dalam industri pembuatan anggur, roti, keju, dan bir. Di bidang kedokteran, enzim untuk membunuh mikroorganisme penyebab penyakit, mempercepat penyembuhan luka, dan mendiagnosis penyakit. Getah pepaya mengandung *papain* yaitu enzim untuk melunakkan daging. Coba kalian praktikkan di rumah!

Tabel 4.2 Katalis dan Penggunaannya dalam Industri

Katalis	Aplikasi
V_2O_5	Proses pembuatan H_2SO_4 melalui proses kontak
Fe	Proses pembuatan NH_3 melalui proses Haber-Bosch
Ni	Proses hidrogenasi minyak menjadi margarin
Alumina-gel silika	Proses <i>cracking</i> (perengkahan) hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek
Renin	Penggumpalan susu dalam pembuatan keju

Rangkuman

1. Laju reaksi adalah laju pengurangan konsentrasi suatu pereaksi atau laju pertambahan konsentrasi suatu produk dalam satu satuan waktu.
2. Persamaan laju reaksi : $v = k[A]^x[B]^y$
 di mana v = laju reaksi
 k = tetapan laju reaksi
 $[A][B]$ = konsentrasi pereaksi
 x, y = orde reaksi terhadap pereaksi
3. Laju reaksi dipengaruhi 4 faktor, yaitu luas permukaan bidang sentuh, konsentrasi, suhu, serta katalis.
4. Makin luas permukaan bidang sentuh suatu zat, maka reaksi akan berlangsung cepat.
5. Laju reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi.
6. Kenaikan suhu menyebabkan reaksi berlangsung lebih cepat.
7. Katalisator adalah zat kimia yang dapat mempercepat reaksi tetapi tidak mengalami perubahan yang kekal dalam reaksi.
8. Reaksi kimia terjadi karena adanya tumbukan yang efektif antara partikel-partikel pereaksi.
9. Energi aktivasi adalah energi kinetik minimum yang diperlukan partikel untuk menghasilkan tumbukan efektif.

Uji Kompetensi

Kerjakan pada buku tugas kalian!

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E

- Kecepatan suatu reaksi : $A + B \rightarrow C + D$ pada setiap saat dapat dinyatakan sebagai
 A. penambahan konsentrasi A dan B setiap waktu
 B. pengurangan konsentrasi C dan D setiap waktu
 C. penambahan konsentrasi A setiap waktu
 D. penambahan konsentrasi B setiap waktu
 E. pengurangan konsentrasi A dan B setiap waktu
- Terdapat suatu reaksi $X + Y \rightarrow XY$. Jika konsentrasi X dinaikkan 2 kali dan konsentrasi Y tetap maka laju reaksi 4 kali lebih besar. Jika konsentrasi X dan Y dinaikkan 2 kali maka laju reaksi menjadi 16 kali lebih besar. Persamaan laju reaksi tersebut adalah
 A. $v = k[X]^2$
 B. $v = k[X][Y]^2$
 C. $v = k[X]^2[Y]^2$
 D. $v = k[X]^2[Y]$
 E. $v = k[X][Y]$
- Persamaan laju reaksi untuk reaksi : $A + 2B \rightarrow \text{hasil}$, adalah $v = k[A][B]^2$. Jika konsentrasi mula-mula zat A dan B masing-masing 1 mol L^{-1} , ternyata zat A yang bereaksi $\frac{1}{3}$ mol L^{-1} , maka laju reaksinya adalah
 A. $\frac{8}{27} k$
 B. $\frac{1}{27} k$
 C. $\frac{3}{27} k$
 D. $\frac{1}{27} k$
 E. $\frac{1}{6} k$
- Pada reaksi $2A + 2B \rightarrow C + D$, diperoleh data sebagai berikut.

[A] (M)	[B] (M)	Laju Reaksi (M dt^{-1})
0,10	0,05	$2,0 \times 10^{-4}$
0,30	0,05	$1,8 \times 10^{-2}$
0,20	0,40	64×10^{-4}
0,05	0,10	y

Harga y pada tabel tersebut adalah

- 1×10^{-2}
- 2×10^{-4}
- 1×10^{-4}
- 1×10^{-3}
- 2×10^{-2}

5. Dari reaksi H_2 dan NO diperoleh data sebagai berikut.

$[\text{H}_2]_{\text{awal}} \text{ (M)}$	$[\text{NO}]_{\text{awal}} \text{ (M)}$	Waktu (detik)
0,1	0,1	80
0,2	0,1	40
0,2	0,2	10

Maka orde reaksi tersebut adalah

- A. 1
B. 2
C. 3
D. 4
E. 5
6. Suatu reaksi berlangsung pada suhu 20°C . Bila pada setiap kenaikan suhu 10°C tetapan laju reaksinya meningkat 2 kali, maka laju reaksi pada suhu 60°C dibandingkan dengan 20°C akan meningkat sebesar
- A. 2 kali
B. 8 kali
C. 16 kali
D. 32 kali
E. 64 kali
7. Bila suhu suatu reaksi dinaikkan 10°C , maka laju reaksinya menjadi 2 kali lipat. Jika pada suhu $T^\circ\text{C}$ reaksi berlangsung selama 16 menit, maka pada suhu $(T + 50)^\circ\text{C}$ reaksi akan berlangsung selama
- A. 0,5 menit
B. 1,0 menit
C. 1,5 menit
D. 2,0 menit
E. 1,5 menit
8. Adanya katalis positif di dalam suatu reaksi dapat mempercepat reaksi karena
- A. menaikkan jumlah tumbukan
B. menurunkan jumlah tumbukan
C. menaikkan energi aktivasi
D. menurunkan energi aktivasi
E. tidak mengubah laju reaksi
9. Reaksi : $2\text{NO}(g) + \text{Br}_2(g) \rightarrow 2\text{NOBr}(g)$, berlangsung dalam tahap-tahap sebagai berikut:
Tahap 1 : $\text{NO}(g) + \text{Br}_2(g) \rightarrow \text{NOBr}_2(g)$ (lambat)
Tahap 2 : $\text{NO}(g) + \text{NOBr}_2(g) \rightarrow 2\text{NOBr}(g)$ (cepat)
Berdasarkan data tersebut, maka orde dari reaksi di atas adalah
- A. 0
B. 1
C. $1\frac{1}{2}$
D. 2
E. 3

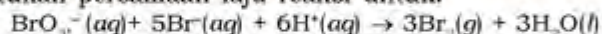
10. Reaksi antara gas H_2 dan gas O_2 pada $25^\circ C$ berjalan sangat lambat, tetapi jika ditambahkan serbuk Pt reaksi berlangsung dengan cepat. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan reaksi dipengaruhi . . .
- A. suhu
B. tekanan
C. konsentrasi
D. katalis
E. sifat zat

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Dari hasil percobaan diperoleh data sebagai berikut.

$[BrO_3^-]_{awal} (M)$	$[Br^-]_{awal} (M)$	$[H^+]_{awal} (M)$	Waktu (dt)
0,4	0,24	0,01	152 ± 6
0,8	0,24	0,01	73 ± 4
0,4	0,48	0,01	75 ± 3
0,8	0,24	0,02	19 ± 4

Tentukan persamaan laju reaksi untuk:



2. Reaksi $A + B \rightarrow C + D$, pada suhu $25^\circ C$, berlangsung sempurna dalam waktu 12 menit. Apabila setiap kenaikan $10^\circ C$ kecepatan reaksinya menjadi 2 kali semula, tentukan waktu yang diperlukan agar reaksi berlangsung sempurna pada $55^\circ C$!
3. Reaksi : $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$ berlangsung melalui 2 tahap.
Tahap 1 : $I_2(g) \rightarrow 2I^-(aq)$ (cepat)
Tahap 2 : $H_2(g) + 2I^-(aq) \rightarrow 2HI(g)$ (lambat)
Tentukan persamaan laju reaksinya!
4. Laju reaksi awal dari reaksi orde dua $5,0 \times 10^{-7} \text{ Mdt}^{-1}$ dan konsentrasi awal reaksinya adalah 0,2 M. Tentukan konstanta laju reaksi!
5. Laju reaksi tertentu bertambah menjadi 2 kali lipat untuk tiap kenaikan temperatur $10^\circ C$. Berapa kali lebih cepat reaksi berlangsung pada $100^\circ C$ jika dibandingkan dengan suhu $20^\circ C$?

Bab V

Kesetimbangan Kimia

Sumber gambar: Jendela Iptek 7

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat mendeskripsikan kesetimbangan kimia dan faktor yang mempengaruhi pergeseran arah kesetimbangan serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari dan industri.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Tetapan kesetimbangan
2. Asas Le Chatelier



Sumber: Kamus Visual

Gambar 5.1 Parfum dengan botol tertutup terjadi sistem kesetimbangan.

Parfum dalam botol tertutup tidak akan menguap. Hal ini tidak terjadi bila botol tersebut terbuka. Parfum akan menguap dan volumenya akan berkurang kemudian lama-kelamaan akan habis. Parfum dengan botol tertutup tidak berkurang jumlahnya karena uapnya tidak dapat keluar dan bila sudah jenuh uap parfum tersebut akan mengembun kembali. Pada botol tertutup tersebut terjadi sistem kesetimbangan (Gambar 5.1).

Peristiwa kesetimbangan juga dapat terjadi pada reaksi kimia yang tertutup. Misalnya pada pembentukan gas amonia dari gas nitrogen dan gas hidrogen. Reaksinya:



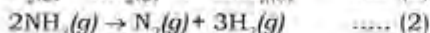
Pada akhir reaksi masih ada N_2 dan H_2 yang bercampur dengan produk reaksi, amonia. Dengan kata lain, reaksi pembentukan NH_3 tidak berlangsung habis. Reaksi di atas dapat dipahami dengan apa yang disebut kesetimbangan kimia.

A. Tetapan Kesetimbangan

Pada dasarnya, terdapat hubungan antara laju reaksi dengan kesetimbangan. Bila produk suatu sistem kimia dapat bereaksi membentuk zat-zat asli, maka perubahan itu dikatakan **reversibel** (dapat balik). Dalam suatu reaksi kimia yang reversibel, terdapat suatu kondisi kesetimbangan kimia yaitu bila sepasang reaksi yang berlawanan, reaksi maju, dan reaksi balik berlangsung dengan laju yang sama.

1. Kestimbangan Dinamis

Untuk memahami tentang kesetimbangan dinamis, perhatikan reaksi di bawah ini.



Bila nitrogen dan hidrogen dicampurkan dengan perbandingan 1 : 3 pada suhu kamar, tidak terjadi laju reaksi yang dapat dideteksi. Namun bila direaksikan pada 200°C, tekanan 30 atm dan ditambahkan katalis, campuran ini bereaksi dengan cepat sampai terbentuk sekitar 67,6% gas amonia. Bila campuran itu dipertahankan suhu dan tekanannya tidak akan terjadi perubahan lebih lanjut dalam banyaknya ketiga komponen tersebut.

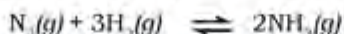
Amonia juga tidak dapat terurai pada suhu kamar. Tetapi bila temperatur dinaikkan sampai 200°C, tekanan 30 atm dan ditambahkan katalis, amonia yang terurai sampai 32,4%. Setelah itu tidak ada perubahan lebih lanjut.

Apabila kita cermati, tiap reaksi berakhir dengan terbentuknya 67,6% amonia dan 32,4% nitrogen dan hidrogen. Jika reaksi diawali dengan nitrogen dan hidrogen dalam suatu wadah tertutup pada suhu 200°C dan tekanan 30 atm, mula-mula reaksi (2) tidak dapat berlangsung karena belum terdapat amonia. Namun setelah reaksi (1) mulai, maka reaksi (2) juga akan mulai walaupun dengan laju reaksi yang rendah. Reaksi (1) mula-mula berlangsung dengan cepat, tetapi semakin lama laju reaksinya semakin berkurang karena nitrogen dan hidrogen semakin habis. Laju reaksi (2) semakin lama semakin bertambah karena semakin banyak amonia. Akhirnya kedua reaksi ini akan berlangsung dengan laju reaksi yang sama. Perhatikan grafik di samping!



Setelah laju reaksi sama, selama suhu dan tekanan tidak berubah serta tidak ada yang ditambahkan atau diambil, maka banyaknya nitrogen, hidrogen, dan amonia tidak berubah.

Reaksi yang demikian itu dikatakan sudah mencapai kesetimbangan. Reaksinya dapat dituliskan:



Karena laju reaksi ke kanan sama dengan laju reaksi ke kiri dan konsentrasi pereaksi dan hasil reaksi tidak berubah, maka keadaan ini disebut **kesetimbangan dinamis**.

2. Tetapan Kesetimbangan

Suatu kesetimbangan dinamis dapat dinyatakan hubungannya antara konsentrasi zat-zat pereaksi dan produk reaksi. Perhatikan reaksi umum kesetimbangan berikut ini.



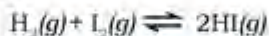
Hubungan antara konsentrasi zat-zat pereaksi dan produk reaksi pada keadaan setimbang dirumuskan:

$$K_c = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

Persamaan di atas dikenal dengan persamaan kesetimbangan.

Hubungan antara konsentrasi zat-zat pereaksi dan produk reaksi dinyatakan sebagai hukum kesetimbangan yang menyatakan *perbandingan hasil konsentrasi produk reaksi yang dipangkatkan dengan koefisiennya terhadap hasil kali konsentrasi pereaksi yang dipangkatkan terhadap koefisiennya adalah tetap*.

Untuk lebih jelasnya, perhatikan reaksi H_2 dan I_2 yang dilakukan pada suhu $425,4^\circ\text{C}$ yang dilakukan oleh A.H. Tailor dan R.H. Crist. Reaksinya:



Persamaan tetapan kesetimbangannya:

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$$

Perhatikan hasil dari eksperimennya pada tabel di bawah ini!

Info Kimia

Amonia (NH_3) ditaburkan dari pesawat udara untuk memadamkan kebakaran hutan, yang juga bermanfaat untuk membantu pertumbuhan tunas baru.

Sumber: Baskiyach/Omar untuk Pelajar

**Tabel Hasil Eksperimen $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$
pada Suhu $425,4^\circ\text{C}$**

Konsentrasi Awal (mol L^{-1})			Konsentrasi pada Kesetimbangan (mol L^{-1})			K_c
$[\text{H}_2]$	$[\text{I}_2]$	$[\text{HI}]$	$[\text{H}_2]$	$[\text{I}_2]$	$[\text{HI}]$	
0,010667	0,011965	—	0,001831	0,003129	0,01767	54,5
0,011354	0,009044	—	0,003560	0,003560	0,01559	54,6
0,011337	0,007510	—	0,004565	0,004565	0,01354	54,4
—	—	0,004489	0,004789	0,004789	0,003531	54,4
—	—	0,010692	0,001141	0,001141	0,008410	54,3

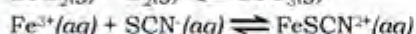
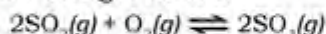
Perhitungan menunjukkan bahwa nilai tetapan kesetimbangan (K_c) dapat dikatakan **tetap** meskipun konsentrasi H_2 , I_2 , dan HI berbeda-beda sewaktu kesetimbangan tercapai.

3. Kesetimbangan Homogen dan Heterogen

Berdasarkan fase-fase dari zat-zat pereaksi dan produk reaksinya, reaksi kesetimbangan dibedakan menjadi dua, yaitu kesetimbangan homogen dan kesetimbangan heterogen.

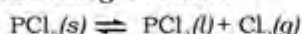
a. Kesetimbangan Homogen

Kesetimbangan homogen adalah kesetimbangan di mana semua pereaksi dan produk reaksi berada dalam satu fase yang sama. Sebagai contoh:



b. Kesetimbangan Heterogen

Kesetimbangan heterogen adalah kesetimbangan di mana pereaksi dan produk reaksi tidak berada dalam satu fase yang sama. Sebagai contoh:



Untuk reaksi kesetimbangan seperti ini perhitungan K_c hanya melibatkan fase gas saja. Hal ini dikarenakan konsentrasi zat padat murni dan zat cair murni adalah tetap, sehingga konsentrasi PCl_5 dan PCl_3 tidak dimasukkan dalam perhitungan K_c . Sehingga nilai tetapan kesetimbangannya: $K_c = [\text{Cl}_2]$.

Untuk lebih memahami pembahasan di atas, perhatikan contoh-contoh soal berikut!

Contoh soal 5.1:

Tentukan persamaan tetapan kesetimbangan untuk reaksi di bawah ini!

- $2\text{NO}(g) + \text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(g)$
- $\text{BiCl}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{BiOCl}(s) + 2\text{HCl}(aq)$

Penyelesaian:

- Kesetimbangan bersifat homogen, jadi:

$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2 [\text{O}_2]}$$

- Kesetimbangan bersifat heterogen. Zat padat murni dan zat cair murni tidak dimasukkan dalam perhitungan tetapan kesetimbangan, sehingga:

$$K_c = \frac{[\text{HCl}]^2}{[\text{BiCl}_3]}$$

Contoh soal 5.2:

Suatu kesetimbangan $\text{CO}(g) + \text{Br}_2(g) \rightleftharpoons \text{COBr}_2(g)$ pada suhu 308 K, dalam keadaan setimbang $[\text{CO}] = 8,78 \times 10^{-3} \text{ M}$, $[\text{Br}_2] = 4,90 \times 10^{-3} \text{ M}$, dan $[\text{COBr}_2] = 3,40 \times 10^{-3} \text{ M}$. Hitung harga kesetimbangannya!

Penyelesaian:

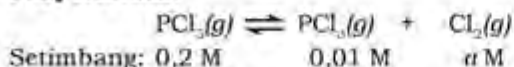
$$\begin{aligned} K_c &= \frac{[\text{COBr}_2]}{[\text{CO}][\text{Br}_2]} \\ &= \frac{3,4 \times 10^{-3} \text{ M}}{8,78 \times 10^{-3} \text{ M} \times 4,90 \times 10^{-3} \text{ M}} \\ &= 7,9 \times 10^{-2} \text{ M}^{-1} \end{aligned}$$

Contoh soal 5.3:

Suatu kesetimbangan $\text{PCl}_5(g) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(g) + \text{Cl}_2(g)$, $K_c = 0,19 \text{ M}$ pada suhu 250°C. Dalam keadaan setimbang terdapat $\text{PCl}_5 = 0,20 \text{ M}$ dan

$\text{PCl}_5 = 0,01 \text{ M}$. Hitung $[\text{Cl}_2]$ dalam campuran kesetimbangan tersebut!

Penyelesaian:



$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]}$$

$$0,19 \text{ M} = \frac{0,01 \text{ M} \times a \text{ M}}{0,2 \text{ M}}$$

$$a = \frac{0,19 \times 0,2}{0,01} = 3,8$$

Jadi, $[\text{Cl}_2] = 3,8 \text{ M}$

B. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kesetimbangan

Kesetimbangan merupakan keadaan yang stabil tetapi peka terhadap perubahan. Perubahan ini timbul apabila sistem mendapatkan pengaruh dari luar yang selanjutnya menimbulkan kesetimbangan baru. Pada tahun 1888, **Henry Le Chatelier** mengungkapkan suatu hipotesis yang menyatakan bahwa *jika suatu faktor luar mempengaruhi kesetimbangan, maka kesetimbangan itu akan bergeser untuk mengurangi pengaruh tersebut sampai diperoleh kesetimbangan baru*. Inilah yang disebut **asas Le Chatelier**.



Faktor luar yang mempengaruhi kesetimbangan antara lain konsentrasi, tekanan, dan suhu. Bagaimana dengan katalis? Dalam suatu sistem kesetimbangan, suatu katalis menaikkan kecepatan reaksi maju dan reaksi balik dengan sama kuatnya. Dengan kata lain, katalis tidak mengubah jumlah relatif yang ada dalam kesetimbangan (nilai tetapan kesetimbangan tetap) melainkan mempengaruhi seberapa cepat kesetimbangan reaksi akan terjadi.

1. Konsentrasi

Apa yang terjadi jika konsentrasi pereaksi atau produk reaksi berubah? Berdasarkan asas Le Chatelier, apabila konsentrasi pereaksi atau produk reaksi berubah maka kesetimbangan akan bergeser untuk mengurangi pengaruh perubahan konsentrasi yang terjadi sampai diperoleh kesetimbangan yang baru.

Jika konsentrasi pereaksi dinaikkan atau konsentrasi produk reaksi diturunkan maka kesetimbangan akan bergeser ke kanan, ke arah produk reaksi. Sebaliknya, jika konsentrasi pereaksi diturunkan atau konsentrasi produk pereaksi dinaikkan maka kesetimbangan akan bergeser ke kiri, ke arah pereaksi.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja, berpikir kritis**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan

Pengaruh Konsentrasi terhadap Kesetimbangan

Tujuan:

Menentukan arah pergeseran kesetimbangan bila salah satu zat diubah konsentrasinya.

Alat:

1. Gelas kimia 100 mL
2. Gelas ukur 25 mL
3. Tabung reaksi
4. Pipet tetes
5. Spatula

Bahan:

1. Larutan KSCN 1 M dan 0,01 M
2. Larutan FeCl_3 1 M dan 0,01 M
3. Kristal Na_2HPO_4
4. Akuades

Cara Kerja:

1. Siapkan 5 buah tabung reaksi.
2. Masukkan 25 mL larutan KSCN 0,01 M ke dalam gelas kimia, kemudian tambahkan 25 mL larutan FeCl_3 0,01 M. Aduk campuran itu dan distribusikan sama banyak ke dalam 5 buah tabung reaksi. Tabung reaksi 1 sebagai pembanding.

- Ke dalam tabung reaksi 2 tambahkan 2 tetes larutan KSCN 1 M, tabung reaksi 3 tambahkan 2 tetes larutan FeCl_3 , tabung reaksi 4 tambahkan sedikit kristal Na_2HPO_4 (ion Fe^{3+} akan mengikat ion HPO_4^{2-}) dan tabung reaksi 5 tambahkan 5 mL akuades.
- Kocok tabung-tabung reaksi tersebut dan bandingkan warnanya dengan tabung reaksi 1.
- Catat hasil pengamatan tersebut.
- Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.

Hasil Pengamatan:

Tabung Reaksi	Perubahan yang Dilakukan	Pengamatan *)
1	$[\text{SCN}^-]$ diperbesar	.....
2	$[\text{Fe}^{3+}]$ diperbesar	.....
3	$[\text{Fe}^{3+}]$ diperkecil	.....
4	Pengenceran	.....

*) warna yang timbul jika dibandingkan tabung reaksi 1.

Pertanyaan dan Tugas:

- Bagaimana pengaruh perubahan konsentrasi terhadap kesetimbangan?
- Bagaimana pengaruh pengenceran terhadap kesetimbangan? Jelaskan!
- Buatlah laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian!

2. Tekanan

Perubahan tekanan hanya berlaku untuk sistem kesetimbangan yang melibatkan gas. Untuk zat padat dan cair, perubahan tekanan tidak berlaku. Hal ini dikarenakan, menaikkan tekanan pada zat cair atau padat dengan cara menjejalkan molekul-molekul agar lebih rapat tidak banyak meningkatkan konsentrasi (efeknya kecil terhadap konsentrasi dalam kesetimbangan).

Perhatikan Gambar 5.3 berikut. Berdasarkan asas Le Chatelier, jika



Gambar 5.3 Ilustrasi asas Le Chatelier yang menunjukkan kenaikan tekanan dapat mengubah kuantitas relatif pereaksi

tekanan suatu sistem reaksi diubah, maka kesetimbangan akan bergeser untuk mengurangi pengaruh perubahan tekanan ini. Pada reaksi kesetimbangan gas di bawah ini:

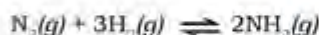


Pengaruh tekanan akan menggeser kesetimbangan apabila:

$$a + b \neq c + d$$

di mana jumlah mol pereaksi \neq jumlah mol produk reaksi.

Bagaimana jika tekanan diperbesar? Ke arah mana kesetimbangan bergeser? Jika tekanan diperbesar, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah dengan jumlah mol lebih sedikit. Sedangkan bila tekanan diperkecil, kesetimbangan akan bergeser ke arah dengan jumlah mol lebih besar. Sebagai contoh pada reaksi kesetimbangan pembentukan NH_3 .



Jika tekanan diperbesar, maka kesetimbangan bergeser ke kanan (produk reaksi) karena jumlah molnya (2) lebih sedikit daripada jumlah mol pereaksi ($1 + 3 = 4$). Sebaliknya jika tekanan diperkecil, maka kesetimbangan akan bergeser ke kiri (pereaksi).

Bagaimana pengaruh volume terhadap kesetimbangan? Telah kita ketahui bahwa volume berbanding terbalik dengan tekanan. Artinya bila volume diperbesar, maka akan sama dengan tekanan yang diperkecil. Bila volume diperbesar, maka sama dengan tekanannya diperkecil.

3. Suhu

Perubahan suhu terkait dengan penyerapan dan pelepasan kalor. Bagaimana pengaruhnya terhadap kesetimbangan? Berdasarkan asas Le Chatelier, apabila suhu dinaikkan, maka kesetimbangan akan

Tips

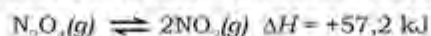
Untuk memudahkan menghafal pergeseran kesetimbangan, gunakan konsep praktis berikut.

1. Vocil/P sar - mocil
2. Bah Wan
3. Nas - endo

Keterangan:

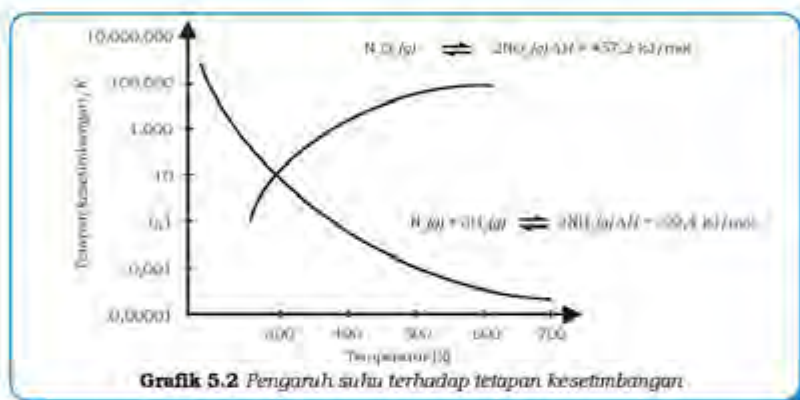
1. Vocil (volume diperkecil) P sar (tekanan diperbesar) reaksi bergeser ke mol (jumlah koefisien yang kecil).
2. Bah (ditambah) reaksi bergeser ke arah berlawanan.
3. Nas (dipanaskan) reaksi bergeser ke arah reaksi yang endotermis.

bergeser ke arah reaksi yang menyerap kalor (endoterm) dan nilai K_c bertambah. Sedangkan bila suhu diturunkan, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah reaksi yang melepas kalor (eksoterm) dan harga K_c berkurang. Untuk lebih jelasnya perhatikan reaksi berikut!



Apabila dalam kesetimbangan tersebut suhu dinaikkan, sistem akan menurunkan suhu dengan cara menyerap kalor yang diberikan. Kesetimbangan akan bergeser ke arah endoterm (yang menyerap panas) yakni NO_2 . Sedangkan bila suhu diturunkan, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah eksoterm (yang membebaskan panas) yakni N_2O_4 .

Selain mempengaruhi pergeseran kesetimbangan, suhu juga mempengaruhi nilai tetapan kesetimbangan. Perhatikan grafik di bawah ini!



Dari grafik di atas terlihat bahwa untuk reaksi endoterm (ΔH positif) nilai tetapan kesetimbangan bertambah dengan kenaikan suhu. Jika suhu dinaikkan (kalor bertambah), maka kesetimbangan akan bergeser ke kanan untuk meminimalkan pengaruh perubahan suhu. Akibatnya, konsentrasi pereaksi berkurang dan konsentrasi produk akan bertambah. Karena K merupakan perbandingan hasil kali produk reaksi yang dipangkatkan terhadap hasil kali pereaksi yang dipangkatkan, maka nilai K akan bertambah. Dengan cara yang sama kita dapat menjelaskan mengapa untuk reaksi eksoterm (ΔH negatif) nilai tetapan kesetimbangannya (K) berkurang dengan kenaikan suhu.

C. Perhitungan Keseimbangan

Pada subbab ini akan dibahas beberapa perhitungan keseimbangan kimia meliputi penentuan K_c , K_p , konsentrasi zat-zat, dan tekanan parsial gas pada keadaan setimbang. Pada reaksi keseimbangan yang melibatkan peruraian atau disosiasi zat dikenal istilah *derajat ionisasi* (α), yaitu jumlah mol zat yang terurai dibagi jumlah mol mula-mula atau dirumuskan:

$$\alpha = \frac{\text{jumlah mol gas}}{\text{jumlah mol mula-mula}}$$

Untuk reaksi yang melibatkan gas, tetapan keseimbangan juga dapat dinyatakan dengan tekanan parsial gas dalam campurannya. Perhatikan persamaan reaksi keseimbangan umum berikut!



Persamaan tekanan parsial gas (K_p) adalah:

$$K_p = \frac{(P_C)^c (P_D)^d}{(P_A)^a (P_B)^b}$$

Dengan P_A , P_B , P_C , dan P_D merupakan tekanan parsial dari gas A, B, C, dan D. Nilai tetapan parsial gas dapat ditentukan dari:

1. Untuk sistem reaksi yang melibatkan gas, maka tekanan total sistem adalah jumlah dari tekanan parsial masing-masing gas.

$$P_{\text{total}} = \Sigma(P_{\text{parsial}} \text{ seluruh gas})$$

2. Besarnya tekanan parsial dalam sistem yang melibatkan gas dapat dihitung dari:

$$P_{\text{parsial}} = \frac{\text{mol gas yang bersangkutan}}{\Sigma(\text{mol seluruh gas})} \times P_{\text{total}}$$

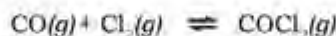
Karena tekanan parsial berbanding lurus dengan konsentrasi molar gas, maka K_p dapat dihubungkan dengan K_c , yakni:

$$K_p = K_c RT^{\Delta n_{\text{gas}}}$$

Di mana $\Delta n_{\text{gas}} = \Sigma \text{ mol gas produk reaksi} - \Sigma \text{ mol gas pereaksi}$.

* Contoh soal 5.4:

Suatu wadah bervolume 3 L diisi campuran 0,2 mol CO dan 0,1 mol Cl_2 . Campuran tersebut akan bereaksi dan akan mencapai kesetimbangan:



Pada suhu percobaan harga $K_c = 0,41 \text{ M}^{-1}$. Hitung konsentrasi COCl_2 dalam keadaan setimbang!

Penyelesaian:

	$\text{CO}(g)$	+	$\text{Cl}_2(g)$	\rightleftharpoons	$\text{COCl}_2(g)$
Mula-mula	: 0,2 mol		0,1 mol		0
Keadaan reaksi	: x mol		x mol		x mol
Keadaan setimbang:	$(0,2-x)$ mol		$(0,1-x)$ mol		x mol

$$[\text{CO}] = \frac{(0,2-x)\text{ mol}}{3 \text{ L}} = \frac{0,2-x}{3} \text{ M}$$

$$[\text{Cl}_2] = \frac{(0,1-x)\text{ mol}}{3 \text{ L}} = \frac{0,1-x}{3} \text{ M}$$

$$[\text{COCl}_2] = \frac{x \text{ mol}}{3 \text{ L}} = \frac{x}{3} \text{ M}$$

$$K_c = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}] [\text{Cl}_2]}$$

$$0,41 \text{ M} = \frac{\frac{x}{3} \text{ M}}{\frac{0,2-x}{3} \text{ M} \times \frac{0,1-x}{3} \text{ M}}$$

$$0,41 = \frac{3x}{(0,2-x)(0,1-x)}$$

$$0,41 = \frac{3x}{0,02 - 0,3x + x^2}$$

$$0,0082 - 0,123x + 0,41x^2 = 3x$$

$$0,41x^2 - 3,123x + 0,0082 = 0$$

$$x = \frac{3,123 \pm \sqrt{(3,123)^2 - (4 \times 0,41 \times 0,0082)}}{2 \times 0,41}$$

$$= \frac{3,123 \pm \sqrt{9,7397}}{0,82} = \frac{3,123 \pm 3,121}{0,82}$$

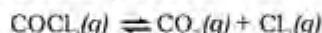
$$x_1 = \frac{3,123 + 3,121}{0,82} = 7,6 \text{ (tidak dipakai)}$$

$$x_2 = \frac{3,123 - 3,121}{0,82} = 0,0024$$

$$\text{Jadi, } [\text{COCl}_2] = \frac{0,0024 \text{ mol}}{3\text{L}} = 0,0008 \text{ M}$$

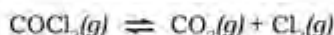
Contoh soal 5.5:

Pada reaksi peruraian COCl_2 berlangsung pada suhu 600 K menurut persamaan reaksi kesetimbangan:



Sebelum reaksi, diketahui tekanan COCl_2 0,124 atm dan setelah reaksi tekanannya turun menjadi 0,104 atm. Tentukan besarnya K_p !

Penyelesaian:



Mula-mula : 0,124 atm - -

Reaksi : -x +x +x

Setimbang : (0,124-x) atm x atm x atm

Pada keadaan setimbang, tekanan parsial COCl_2 adalah 0,104 atm, maka:

$$0,124 - x = 0,104$$

$$x = 0,02 \text{ atm}$$

Sesuai dengan persamaan reaksi di atas, maka diperoleh:

$P_{\text{COCl}_2} = 0,104 \text{ atm}$, $P_{\text{CO}} = 0,02 \text{ atm}$, dan $P_{\text{Cl}_2} = 0,02 \text{ atm}$, sehingga dapat diperoleh pula:

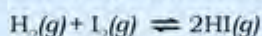
$$K_p = \frac{P_{\text{CO}} \times P_{\text{Cl}_2}}{P_{\text{COCl}_2}} = \frac{(0,02 \text{ atm}) \times (0,02 \text{ atm})}{(0,104 \text{ atm})} = 3,85 \times 10^{-3} \text{ atm}$$

Jadi harga $K_p = 3,85 \times 10^{-3} \text{ atm}^{-1}$.

Kerjakan tugas berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, mengembangkan **kecakapan personal**, dan **akademik** kalian!

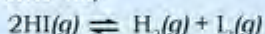
Tugas 5.1

1. Pada reaksi pembentukan HI, menurut reaksi kesetimbangan:



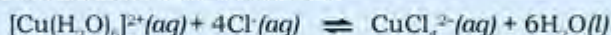
Pada awalnya terdapat 0,1 mol H_2 ditambah 0,1 mol I_2 di dalam tabung kimia dengan volume 2 L. Setelah kesetimbangan tercapai, konsentrasi I_2 turun menjadi 0,01 mol. Tentukan:

- a. persamaan tetapan kesetimbangan,
 - b. nilai tetapan kesetimbangan!
2. Pada reaksi peruraian HI,



Hasil percobaan menunjukkan bahwa pada suhu 730,8 K sebanyak 22,3% HI terurai menjadi H_2 dan I_2 , saat kesetimbangan tercapai. Tentukan tetapan kesetimbangannya!

3. Perhatikan reaksi di bawah ini!



Pada suhu 298 K, saat kesetimbangan tercapai terdapat $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} = 0,046 \text{ mol}$, $\text{Cl}^- = 0,2 \text{ mol}$ dan $\text{CuCl}_4^{2-} = 0,184 \text{ mol}$. Pada volume campuran sebanyak 2,0 L, tentukan nilai tetapan kesetimbangan!

4. Pada suhu 60°C dan tekanan 1 atm, gas N_2O_4 terurai menurut persamaan (belum setara):



Jika diketahui derajat disosiasinya sebesar 50%, tentukan:

- a. tekanan parsial masing-masing gas,
- b. K_p reaksi!

Catatan: Tugas dikumpulkan dan dinilai oleh guru.

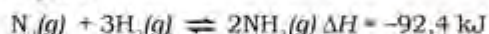
D. Keseimbangan dalam Industri

Pertimbangan utama dalam industri umumnya menyangkut **prinsip ekonomi**, yaitu dengan modal sekecil-kecilnya untuk mendapatkan keuntungan yang sebesar-besarnya. Oleh karena itu, dalam industri kimia para kimiawan akan memikirkan bagaimana agar dapat diperoleh hasil reaksi yang sebanyak mungkin dalam waktu singkat dan bahan baku sesedikit mungkin. Jika proses kimia dalam industri kimia berkaitan dengan keseimbangan, maka asas Le Chatelier sangat berperan dalam menentukan kondisi sistem.

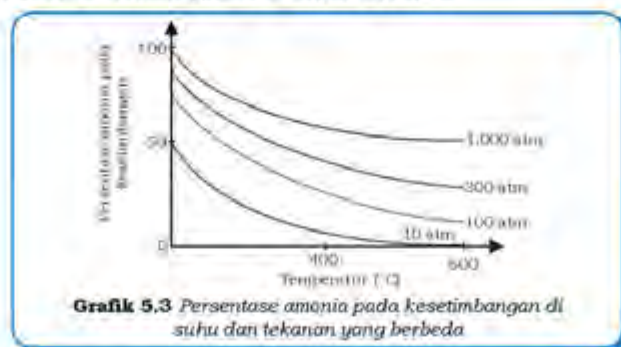
1. Pembuatan Amonia (NH_3) dengan Proses Haber-Bosch

Amonia (NH_3) merupakan salah satu senyawa nitrogen yang banyak digunakan dalam industri modern. Amonia digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk, obat-obatan, bahan peledak, dan lainnya.

Pada tahun 1908, ilmuwan Jerman, **Fritz Haber**, menemukan cara mensintesis NH_3 untuk menghasilkan produk NH_3 dalam jumlah yang besar. Dengan menerapkan asas Le Chatelier, ia memahami bahwa reaksi pembentukan NH_3 yang bersifat eksoterm memerlukan suhu yang rendah dan tekanan yang tinggi agar keseimbangan bergeser ke kanan (produk reaksi). Reaksi yang terjadi:



Berdasarkan hasil eksperimen dengan mengubah variabel suhu dan tekanan diperoleh grafik sebagai berikut.



Grafik 5.3 Persentase amonia pada kesetimbangan di suhu dan tekanan yang berbeda



Sumber: *Encyclopedia
Umum untuk Pelajar*
Gambar 5.4 Fritz
Haber

Dari grafik di atas terlihat bahwa pada suhu rendah, persentase NH_3 yang dihasilkan lebih banyak tetapi menjadikan tidak efektif karena laju reaksinya lambat. Oleh sebab itu suhu optimum untuk reaksi ini adalah $400 - 600^\circ\text{C}$.

Grafik di atas juga memperlihatkan bahwa semakin tinggi tekanannya, maka NH_3 yang dihasilkan semakin banyak. Tetapi hal ini terbentur masalah teknis, yaitu kemampuan alat dan faktor keselamatan. Hal ini dapat diatasi setelah pada tahun 1913, *Carl Bosch* merancang sebuah bejana yang dapat beroperasi dengan aman sampai tekanan 300 atm. Jadi, tekanan optimum untuk reaksi ini adalah sekitar 150 - 300 atm.

Meskipun masalah suhu dan tekanan dapat diatasi, tetapi Bosch melihat kalau produksi amonia masih kurang optimum. Untuk itu ia berpendapat untuk menambahkan katalis dalam reaksi itu. Setelah melakukan eksperimen, diperoleh katalis dari serbuk Fe dengan campuran aluminium oksida, kalium hidroksida, dan beberapa garam lain. Amonia cair digunakan sebagai pupuk (Gambar 5.5).



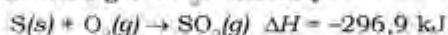
Sumber: www.wikipedia.org
Gambar 5.5 Amonia cair digunakan sebagai pupuk dalam tanah

2. Pembuatan Asam Sulfat (H_2SO_4) dengan Proses Kontak

Asam sulfat (H_2SO_4) merupakan zat cair yang banyak digunakan di dalam laboratorium. Pembuatan asam sulfat ini melalui beberapa tahap, yaitu:

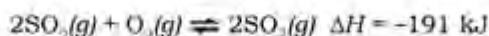
a. Pembentukan SO_2

Pada tahap ini, lelehan belerang direaksikan dengan gas oksigen membentuk gas SO_2 . Reaksinya:



b. Pembentukan SO_3

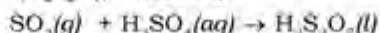
Gas SO_2 yang terbentuk kemudian direaksikan dengan O_2 dengan kondisi optimum yakni pada suhu $\pm 450^\circ\text{C}$, tekanan 2 - 3 atm dan dengan menggunakan bantuan katalis V_2O_5 . Reaksi yang terjadi:



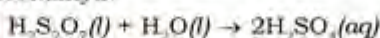
c. Pembentukan H_2SO_4

Untuk memperoleh H_2SO_4 , gas SO_3 yang terbentuk tidak langsung direaksikan dengan air. Bila direaksikan langsung akan terbentuk kabut H_2SO_4 yang sukar dikumpulkan, tidak dapat terkondensasi,

dan dapat menyebabkan pencemaran udara. Untuk itu, gas SO_2 dilarutkan ke dalam campuran 98% H_2SO_4 dan 2% air sehingga terbentuk *oleum* ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$). Reaksinya:



Oleum kemudian diencerkan dengan air untuk mendapatkan H_2SO_4 pekat. Reaksinya:



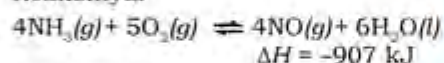
3. Pembuatan Asam Nitrat (HNO_3) dengan Proses Ostwald

Asam nitrat (HNO_3) merupakan suatu asam kuat yang banyak digunakan untuk pembuatan pupuk, bahan peledak, serta untuk reaksi dalam kimia organik. Pembuatan asam nitrat dengan proses Ostwald berlangsung dalam 3 tahap, yaitu:

a. Pembentukan NO

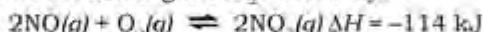
Gas NH_3 bereaksi dengan O_2 pada keadaan optimum, yakni suhu 900°C , tekanan 4 – 10 atm dengan bantuan katalis Pt-Rh membentuk gas NO .

Reaksinya:



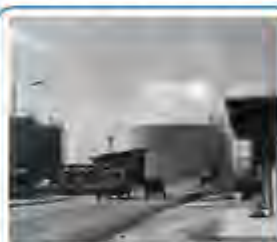
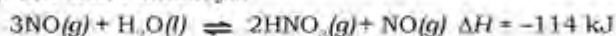
b. Pembentukan NO_2

Gas NO yang dihasilkan kemudian didinginkan sampai suhu $25 - 40^\circ\text{C}$ sebelum direaksikan dengan O_2 pada tekanan 7 – 12 atm membentuk gas NO_2 . Reaksinya:



c. Pembentukan HNO_3

Pada tahap ini, gas NO_2 direaksikan dengan air membentuk HNO_3 dan NO . Reaksinya:



Sumber: Majalah Jawa Timur
Tempat Industri

Gambar 5.6 Pabrik pupuk amonium nitrat menggunakan bahan baku asam nitrat

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan produktivitas** dan **kontekstual** kalian!

Tugas 5.2

Pabrik pupuk di Indonesia antara lain PT Petrokimia Gresik dan Pupuk Kaltim. Salah satu bahan dasar pembuatan pupuk tersebut adalah amonia (NH_3). Sebutkan pabrik pupuk kimia di Indonesia lainnya serta jelaskan pembuatan amonia yang efisien berdasarkan asas Le Chatelier!

Rangkuman

1. Kesetimbangan dinamis terjadi apabila laju reaksi ke kanan sama dengan laju reaksi ke kiri dan konsentrasi pereaksi dengan hasil reaksi tidak berubah.
2. Kesetimbangan berdasarkan fase zat dibedakan menjadi kesetimbangan homogen dan heterogen.
3. Tetapan kesetimbangan konsentrasi (K_c) =
$$\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$
4. Untuk sistem gas harga K dinyatakan dalam tetapan kesetimbangan tekanan (K_p) di mana, $K_p = \frac{(P_C)^c (P_D)^d}{(P_A)^a (P_B)^b}$
5. Hubungan K_p dan K_c dirumuskan: $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$
6. Asas Le Chatelier menyatakan bila dalam suatu sistem kesetimbangan diberikan aksi yang mengganggu sistem kesetimbangan, maka akan timbul reaksi yang memperkecil aksi tersebut.
7. Jika konsentrasi pereaksi bertambah, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah zat hasil dan sebaliknya.
8. Jika volume ruang diperbesar, (tekanan diperkecil), maka reaksi kesetimbangan gas akan bergeser ke arah koefisien jumlah gas yang besar dan sebaliknya.
9. Jika suhu diperbesar, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah endoterm dan harga K akan berubah.

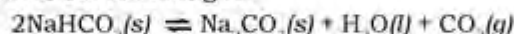
Uji Kompetensi

Kerjakan pada buku tugas kalian!

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Reaksi kesetimbangan $2A + B \rightleftharpoons A_2B$, mempunyai tetapan kesetimbangan $K_c = 2$. Bila 3 mol A dan x mol B dilarutkan dalam suatu pelarut tertentu sehingga diperoleh larutan yang volumenya 2 L, maka setelah tercapai kesetimbangan akan terbentuk A_2B sebanyak 1 mol. Maka x adalah
 A. 2
 B. 3
 C. 4
 D. 5
 E. 6

2. Pada reaksi kesetimbangan:



Jika NaHCO_3 dipanaskan dalam ruang hampa pada suhu tertentu, ternyata tekanan total dalam sistem adalah P atmosfer. Maka tetapan kesetimbangan K_p bagi reaksi ini adalah

- A. $K_p = P$
 B. $K_p = 2P$
 C. $K_p = \frac{1}{4}P^2$
 D. $K_p = P^2$
 E. $K_p = \frac{1}{2}P^2$
3. Harga K_p untuk reaksi kesetimbangan: $3X(g) \rightleftharpoons 2Y(g)$ pada suhu tertentu adalah 3. Jika dalam kesetimbangan tekanan parsial $Y = 9$ atm, maka tekanan parsial X adalah
 A. $\frac{1}{6}$ atm
 B. $\frac{1}{3}$ atm
 C. 3 atm
 D. 9 atm
 E. 27 atm
4. Suatu campuran gas yang terdiri atas SO_3 , SO_2 , dan O_2 berada dalam kesetimbangan pada suhu tertentu. Campuran gas ini kemudian dimampatkan pada suhu tetap. Pada pemampatan ini, maka
 A. jumlah mol SO_3 bertambah
 B. jumlah mol SO_2 bertambah
 C. jumlah mol O_2 bertambah
 D. jumlah mol SO_2 dan O_2 bertambah
 E. tidak terjadi perubahan jumlah mol total zat-zat dalam sistem

5. Pada reaksi kesetimbangan: $\text{N}_2\text{O}_4(g) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(g)$

Jika sejumlah N_2O_4 dibiarkan mencapai kesetimbangan pada suhu tertentu dan pada saat setimbang perbandingan mol $\text{N}_2\text{O}_4 : \text{mol NO}_2 = 1 : 3$, maka derajat disosiasi N_2O_4 adalah

- A. $\frac{1}{6}$ D. $\frac{3}{4}$
 B. $\frac{1}{4}$ E. $\frac{3}{5}$
 C. $\frac{3}{6}$

6. Pada suhu tertentu tetapan kesetimbangan K_c untuk suatu reaksi kimia, $2\text{AB}(g) \rightleftharpoons \text{A}_2(g) + \text{B}_2(g)$, adalah 49. Jika mula-mula ada a mol AB, maka banyaknya A_2 yang terbentuk dalam kesetimbangan adalah

- A. $0,44a$ mol D. $0,93a$ mol
 B. $0,47a$ mol E. $1,56a$ mol
 C. $0,88a$ mol

7. Pada reaksi kesetimbangan: $2\text{NH}_3(g) \rightleftharpoons \text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g)$

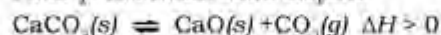
Perbandingan mol $\text{NH}_3 : \text{N}_2 : \text{H}_2 = 3 : 1 : 3$, pada saat setimbang. NH_3 yang tidak terurai sebesar

- A. 20% D. 60%
 B. 37,33% E. 66,67%
 C. 40%

8. Pada suhu tertentu, konsentrasi kesetimbangan dari zat-zat dalam reaksi: $\text{A}(g) + \text{B}(g) \rightleftharpoons \text{C}(g) + \text{D}(g)$, adalah $[\text{A}] = [\text{B}] = 0,1$ M dan $[\text{C}] = [\text{D}] = 0,2$ M. Jika pada suhu yang sama $0,1$ M A; $0,1$ M B; $0,3$ M C; dan $0,3$ M D dimasukkan dalam ruang hampa, maka konsentrasi zat A setelah mencapai kesetimbangan adalah

- A. $0,1$ M D. $0,067$ M
 B. $0,2$ M E. $0,033$ M
 C. $0,13$ M

9. Pada pemanasan batu kapur:



Supaya CaO yang dihasilkan makin banyak maka

- A. CaCO_3 ditambah
 B. suhu dinaikkan
 C. suhu diturunkan
 D. CO_2 dimasukkan
 E. CaCO_3 dikurangi

10. Pada reaksi: $\text{SbCl}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{SbCl}(s) + 2\text{HCl}(aq)$
 Perlakuan yang menyebabkan endapan SbCl larut adalah dengan menambah . . .
- | | |
|-----------------|------------------------|
| A. NaOH | D. asam nitrat |
| B. air | E. SbCl padat |
| C. perak nitrat | |

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Tekanan parsial gas NO_2 dan N_2O_4 dalam suatu campuran gas yang berasal dari disosiasi N_2O_4 berbanding 1 dan 3. Tentukan bagian N_2O_4 yang *tidak* berdisosiasi!
2. Jika tetapan kesetimbangan (K_p) untuk reaksi $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$ dan $2\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$ berturut-turut adalah 4 dan 8. Tentukan tetapan kesetimbangan (K_p) bagi reaksi kesetimbangan $\text{C} + \text{D} \rightarrow 2\text{B}$!
3. Dalam ruangan, 8 mol gas SO_2 direaksikan dengan 8 mol gas O_2 menghasilkan gas SO_3 sesuai reaksi keseimbangan:

$$2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(g)$$
 Pada keadaan setimbang, terdapat 4 mol gas SO_3 dan tekanan ruangan 28 atm. Tentukan harga K_p saat itu!
4. Tuliskan reaksi kesetimbangan yang terjadi pada:
 - a. pembuatan asam sulfat dengan proses kontak,
 - b. pembuatan amonia dengan proses Haber!
5. Sebutkan 4 ciri keadaan setimbang pada sistem kesetimbangan: $2\text{HI}(g) \rightarrow \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$

Latihan Semester I

Kerjakan pada buku tugas kalian!

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

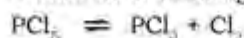
- Jika nomor atom X = 26, maka konfigurasi elektron yang untuk X^{3+} adalah
 A. $1s^2 2s^2 2p^2 3s^2 3p^5 4s^2 3d^6$
 B. $1s^2 2s^2 2p^2 3s^2 3p^6 4s^2 3d^4$
 C. $1s^2 2s^2 2p^2 3s^2 3p^6 4s^2 3d^3$
 D. $1s^2 2s^2 2p^2 3s^2 3p^6 4s^1 3d^5$
 E. $1s^2 2s^2 2p^2 3s^2 3p^6 3d^5$
- Data percobaan untuk reaksi: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ terdapat dalam tabel berikut ini:

No.	$[N_2]$	$[H_2]$	Laju Reaksi
1.	0,002	0,002	4×10^{-4}
2.	0,004	0,002	8×10^{-4}
3.	0,004	0,008	32×10^{-4}

Persamaan laju reaksinya adalah

- $v = k [N_2] [H_2]$
 - $v = k [N_2] [H_2]^2$
 - $v = k [N_2] [H_2]^3$
 - $v = k [N_2]$
 - $v = k [H_2]$
- Perhatikan reaksi:
 $2C(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g) \quad \Delta H = +x \text{ kJ}$
 Reaksi akan bergeser ke kanan jika
 A. tekanan diperkecil D. suhu dinaikkan
 B. volume diperbesar E. suhu diturunkan
 C. diberi katalis
 - Dalam bejana 10 L dimasukkan 5 mol HI yang terurai menurut reaksi:
 $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$
 Jika dalam kesetimbangan masih ada 2 mol HI, maka harga K_c adalah
 A. 0,70 D. 0,80
 B. 0,50 E. 0,59
 C. 0,56

5. PCl_5 dapat terdekomposisi menjadi PCl_3 dan Cl_2 membentuk reaksi kesetimbangan.



Apabila pada temperatur 250°C harga K_p untuk reaksi tersebut adalah 2 dan PCl_5 terdisosiasi sebanyak 10%, maka tekanan total sistem adalah

- A. 198 atm
B. 150 atm
C. 100 atm
D. 50 atm
E. 180 atm
6. Diketahui entalpi pembentukan $\text{H}_2\text{O}(l) = -285 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\text{CO}_2(g) = -393 \text{ kJ mol}^{-1}$, dan $\text{C}_2\text{H}_2(g) = +227 \text{ kJ mol}^{-1}$. Jumlah kalor yang dibebaskan pada pembakaran 0,52 gram C_2H_2 ($M_r = 26$) adalah
- A. 25,96 kJ
B. 47,06 kJ
C. 67,49 kJ
D. 90,50 kJ
E. 129,80 kJ
7. Ikatan hidrogen yang paling kuat terdapat pada senyawa
- A. NH_3
B. HCl
C. HF
D. HI
E. HBr
8. Unsur X dengan nomor atom 5 dan unsur Y dengan nomor atom 35 akan membentuk senyawa yang bentuk molekulnya adalah
- A. linier
B. tetrahedral
C. segitiga planar
D. oktahedral
E. bujur sangkar
9. Diketahui
- | | |
|--|-------------------------------|
| $\text{CS}_2(g) + 3\text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{SO}_2(g)$ | $\Delta H = -1110 \text{ kJ}$ |
| $\text{CO}_2(g) \rightarrow \text{C}(g) + \text{O}_2(g)$ | $\Delta H = +394 \text{ kJ}$ |
| $\text{SO}_2(g) \rightarrow \text{S}(g) + \text{O}_2(g)$ | $\Delta H = +297 \text{ kJ}$ |
- Maka kalor pembentukan CS_2 adalah
- A. +122 kJ
B. -122 kJ
C. +419 kJ
D. -419 kJ
E. +906 kJ

15. Bilangan kuantum elektron terakhir dari unsur X dengan nomor atom 11 adalah

- A. $n = 4 \quad l = 0 \quad m = -1 \quad s = -\frac{1}{2}$
 B. $n = 4 \quad l = 1 \quad m = 0 \quad s = +\frac{1}{2}$
 C. $n = 3 \quad l = 0 \quad m = 0 \quad s = +\frac{1}{2}$
 D. $n = 3 \quad l = 1 \quad m = 0 \quad s = -\frac{1}{2}$
 E. $n = 2 \quad l = 0 \quad m = 0 \quad s = +\frac{1}{2}$

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Diketahui data eksperimen untuk reaksi: $2A + B \rightarrow A_2B$ adalah:

No.	[A]	[B]	Laju Reaksi
1.	0,002	0,003	4
2.	0,004	0,003	8
3.	0,002	0,009	36

Tentukanlah:

- orde reaksi A dan B,
 - persamaan laju reaksinya!
2. Jika diketahui perubahan entalpi untuk reaksi berikut.
- $$2Fe(s) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3(s) \quad \Delta H = -822 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- $$C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g) \quad \Delta H = -110 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- Hitunglah entalpi untuk reaksi:
- $$3C(s) + Fe_2O_3(s) \rightarrow 2Fe(s) + 3CO(s)$$
3. Suatu larutan mengandung asam format, HCOOH 0,9 M dan Na format, NaHCOO 1,1 M dalam volume 100 mL. Jika diketahui K_a asam format $= 1,8 \times 10^{-4}$.
- Tentukan pH larutan tersebut!
 - Apabila dalam 100 mL larutan tersebut ditambahkan 10 mL HCl 1 M, berapa pH sekarang?
4. Tuliskan konfigurasi elektron dari ion:
- $_{16}S^{2-}$
 - $_{24}Cr^{3+}$
 - $_{30}Zn^{2+}$
5. Dalam ruang 3 L pada suhu tertentu terdapat campuran 0,6 mol gas NH_3 , 0,5 mol gas HCl dan 0,9 mol gas NH_4Cl . Jika tekanan ruang saat itu 4 atm, tentukan harga K_p , K_c , dan suhu ruang!

Bab VI

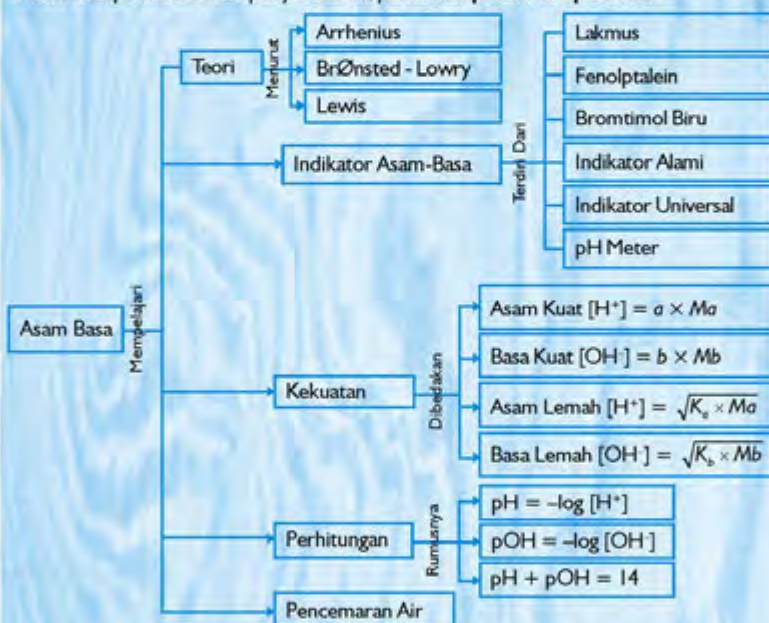
Larutan Asam-Basa

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat mengetahui sifat-sifat larutan asam-basa dan cara menghitung pH larutan.

Sumber gambar: Ensiklopedi Umum untuk Pelajar 1

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Asam
2. Basa
3. pH larutan
4. Indikator



Sumber: Ensiklopedi Umum untuk Pelajar
Gambar 6.1 Bahan-bahan yang mengandung asam, basa, dan garam

Senyawa asam dan basa banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Buah-buahan mempunyai rasa masam karena senyawa asam yang dikandungnya. Jeruk, misalnya, mengandung asam sitrat. Demikian juga basa digunakan dalam pembersih lantai, sabun, dan pasta gigi. Larutan asam dan basa merupakan larutan elektrolit yang penting dan banyak digunakan dalam reaksi kimia. Carilah contoh senyawa asam dan basa lainnya beserta manfaatnya!

A. Teori Asam-Basa Arrhenius dan pH Larutan

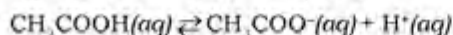
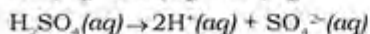
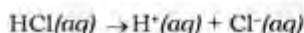
Sifat asam basa suatu zat dapat dicirikan pada sifat larutan air masing-masing. Hal ini telah lama diterapkan oleh para ahli. Istilah asam berasal dari bahasa Latin "*acetum*" yang berarti cuka, sedangkan istilah basa (*alkali*) berasal dari bahasa Arab yang berarti abu. Teori asam-basa Arrhenius merupakan salah satu teori asam-basa yang dinilai cukup rasional dan masih banyak digunakan sampai saat ini.

1. Teori Asam-Basa Arrhenius

Teori asam-basa Arrhenius yang mendasari perhitungan **Svante August Arrhenius** pada tahun 1887.

a. Asam

Senyawa asam adalah senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion H^+ . Perhatikan contoh-contoh persamaan reaksi berikut!



Berdasarkan jumlah ion H^+ yang dilepas, senyawa asam dapat dikelompokkan menjadi:

- 1) Asam monoprotik, yaitu senyawa asam yang melepaskan satu ion H^+ .
Contoh: $\text{HCl}(aq)$, $\text{HBr}(aq)$, dan $\text{HNO}_3(aq)$.
- 2) Asam poliprotik, yaitu senyawa asam yang melepaskan lebih dari satu ion H^+ . Asam ini dapat dibagi:
 - a) Asam diprotik, yaitu senyawa asam yang melepaskan dua ion H^+ . Contoh: $\text{H}_2\text{SO}_4(aq)$ dan $\text{H}_2\text{CO}_3(aq)$.
 - b) Asam triprotik, yaitu senyawa asam yang melepaskan tiga ion H^+ . Contoh: $\text{H}_3\text{PO}_4(aq)$.



Sumber: CD Image

Gambar 6.2 Belimbing mengandung asam oksalat (asam diprotik)

Tokoh Kimia

Svante August Arrhenius

Svante August Arrhenius lahir di kota Vik, Swedia pada 19 Mei 1859. Sejak kecil, Arrhenius menunjukkan minatnya pada bidang matematika, kimia, dan fisika. Hal itu ia tunjukkan ketika ia masuk "The University of Uppsala" pada tahun 1876, ia mempelajari matematika, kimia, dan fisika sekaligus.

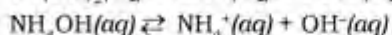
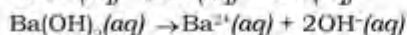
Salah satu hasil karya yang masih dipakai saat ini adalah teori asam-basa. Menurut Arrhenius, senyawa asam adalah senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion H^+ . Sedangkan senyawa basa adalah senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion OH^- . Teori ini kemudian berkembang dan disempurnakan oleh tokoh-tokoh kimia yang lain seperti Brønsted-Lowry dan Lewis.



Sumber: www.commission-doctors.org

b. Basa

Senyawa basa adalah senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan melepaskan ion OH^- . Perhatikan contoh persamaan reaksi berikut.



Senyawa basa dapat dikelompokkan berdasarkan jumlah gugus OH^- yang diikat, yaitu:

- 1) Basa monohidroksi, yaitu senyawa basa yang melepaskan satu ion OH^- . Contoh: $\text{NaOH}(aq)$, $\text{KOH}(aq)$, dan $\text{NH}_4\text{OH}(aq)$.

- 2) Basa polihidroksi, yaitu senyawa basa yang melepaskan lebih dari satu ion OH^- . Basa ini dapat dibagi:
 - a) Basa dihidroksi, yaitu senyawa basa yang melepaskan dua ion OH^- . Contoh: $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{aq})$ dan $\text{Ba}(\text{OH})_2(\text{aq})$.
 - b) Basa trihidroksi, yaitu senyawa basa yang melepaskan tiga ion OH^- . Contoh: $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{aq})$ dan $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{aq})$.

2. pH Larutan

Tingkat keasaman larutan bergantung pada konsentrasi ion H^+ dalam larutan. Makin besar $[\text{H}^+]$, konsentrasi ion H^+ , makin asam larutan, demikian pula bila $[\text{OH}^-]$, konsentrasi ion OH^- makin besar, maka larutan semakin basa. Namun, pernyataan kekuatan asam atau kekuatan basa menggunakan $[\text{H}^+]$ atau $[\text{OH}^-]$ memberikan angka yang nilainya sangat kecil dan cara penulisannya tidak sederhana. Untuk menyederhanakan penulisan, seorang ahli biokimia dari Denmark, **Soren Peer Lauritz Sorensen (1868 - 1939)**, pada tahun 1909 mengajukan penggunaan istilah pH.

a. pH

pH suatu larutan menyatakan derajat atau tingkat keasaman larutan tersebut. Nilai pH diperoleh sebagai hasil negatif logaritma 10 dari konsentrasi ion H^+ . Secara matematika dituliskan dalam persamaan:

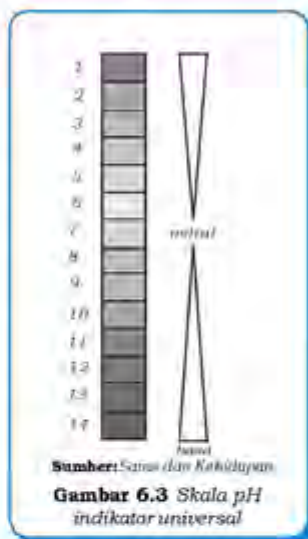
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

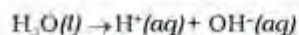
Analog dengan pH, untuk larutan basa berlaku persamaan:

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

b. Hubungan pH dan pOH

Untuk memahami hubungan antara pH dan pOH, terlebih dahulu kita pahami tetapan ionisasi air. Air murni akan mengalami ionisasi menghasilkan ion H^+ dan ion OH^- dalam jumlah yang sangat kecil, karena air merupakan elektrolit yang sangat lemah.





$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$$

Harga K_w dipengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi suhu, semakin besar air yang terionisasi. Harga K_w pada berbagai suhu dapat dilihat pada Tabel 6.1 berikut.

Tabel 6.1 Harga K_w Air pada Berbagai Suhu

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	K_w Air
0	$0,144 \times 10^{-14}$
10	$0,295 \times 10^{-14}$
20	$0,676 \times 10^{-14}$
25	$1,00 \times 10^{-14}$
60	$9,55 \times 10^{-14}$
100	$55,0 \times 10^{-14}$

Pada suhu kamar (25°C), ionisasi air murni menghasilkan ion H^+ sebesar 10^{-7} , jumlah yang sama dengan ion OH^- yang dihasilkan, sehingga:

$$\begin{aligned} K_w &= [\text{H}^+][\text{OH}^-] \\ &= [10^{-7}][10^{-7}] \\ &= 10^{-14} \end{aligned}$$

Fokus

Perhatikan pada persamaan $\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_w$

Karena K_w pada suhu $25^{\circ}\text{C} = 10^{-14}$, maka:

$$\begin{aligned} K_w &= [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \\ \text{p}K_w &= -\log [\text{H}^+][\text{OH}^-] = -\log 10^{-14} \\ \text{p}K_w &= -\log [\text{H}^+] + \{-\log [\text{OH}^-]\} = 14 \end{aligned}$$

Dapat diambil kesimpulan, hubungan antara pH dan pOH dapat dituliskan dalam persamaan:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14 \quad \text{atau} \quad \text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

Jadi, untuk menentukan pH larutan basa, maka pOH larutan tersebut harus diketahui terlebih dahulu.

*** Contoh soal 6.1:**

Berapakah konsentrasi ion OH^- dalam larutan jika konsentrasi $\text{H}^+ = 2 \times 10^{-4} \text{ M}$? (Diketahui $K_w = 10^{-14}$)

Penyelesaian:

Dalam larutan dengan pelarut air, berlaku:

$[H^+][OH^-] = 10^{-14}$, jika $[H^+] = 2 \times 10^{-4} \text{ M}$, maka:

$$2 \times 10^{-4} [OH^-] = 10^{-14}$$

$$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{2 \times 10^{-4}}$$

$$= 5 \times 10^{-11} \text{ M}$$

Jadi konsentrasi ion OH^- dalam larutan adalah $5 \times 10^{-11} \text{ M}$

3. Pengenalan Asam-Basa

Pada mulanya, klasifikasi suatu zat termasuk asam atau basa berdasarkan atas sifat zat pada larutannya dalam air. Sifat asam atau basa suatu zat dapat diketahui dengan cara mencicipinya. Misalnya, suatu zat dikatakan asam jika larutannya dalam air memberikan rasa asam, sedangkan suatu zat dikatakan basa jika rasanya pahit dan terasa licin. Namun, pengenalan dengan cara ini berisiko tinggi karena ada senyawa kimia yang bersifat racun.

Untuk mengenali sifat suatu larutan dapat diketahui dari indikator asam-basa (Gambar 6.4). **Indikator asam-basa** adalah suatu zat yang memberikan warna berbeda pada larutan asam dan larutan basa. Dengan adanya perbedaan warna tersebut, indikator dapat digunakan untuk mengetahui apakah suatu zat bersifat asam atau basa. Indikator asam-basa yang sering digunakan dalam skala laboratorium antara lain lakmus merah, lakmus biru, fenolftalein, dan bromtimol biru.

Ada dua macam kertas lakmus yang digunakan untuk mendeteksi asam atau basa, yaitu kertas lakmus merah dan kertas lakmus biru (Gambar 6.5). Larutan asam mengubah warna kertas lakmus biru menjadi merah, sedangkan larutan basa mengubah warna kertas lakmus merah menjadi biru.



Sumber: www.chemed4u.net

Gambar 6.4 Salah satu indikator asam-basa



Sumber: www.chemed4u.net

Gambar 6.5 Kertas lakmus merah dan biru, sebagai indikator asam dan basa

Tabel 6.2 Warna Indikator Asam-Basa

Indikator	Larutan Asam	Larutan Basa
Lakmus merah	Merah	Biru
Lakmus biru	Merah	Biru
Fenolftalein	Tidak berwarna	Merah
Bromtimol biru	Kuning	Biru

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **kreativitas, etos kerja**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 6.1

Larutan Asam, Basa, dan Netral

Tujuan:

Membedakan larutan asam, basa, dan netral dengan menggunakan kertas lakmus.

Alat:

1. Plat tetes
2. Pipet tetes
3. Kertas lakmus merah dan biru

Bahan:

1. Asam cuka 0,1 M
2. Air kapur
3. Air jeruk
4. Larutan HCl 0,1 M
5. Larutan NaOH 0,1 M
6. Air sabun
7. Larutan NaCl 0,1 M
8. Larutan amonia 0,1 M
9. Air sumur
10. Akuades

Cara Kerja:

1. Isi dua lekukan pada plat tetes dengan akuades, kemudian ujlilah dengan kertas lakmus merah dan biru.
2. Lakukan langkah (1) terhadap larutan asam cuka, air kapur, air jeruk, larutan HCl, larutan NaOH, larutan amonia, larutan NaCl, air sabun, dan air sumur.
3. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.

Hasil Pengamatan:

No.	Larutan	Warna Indikator		Sifat Larutan
		Lakmus Merah	Lakmus Biru	
1.	Akuades	.....	.....	.....
2.	Asam cuka	.....	.....	.....
3.	Air kapur	.....	.....	.....
4.	Air jeruk	.....	.....	.....
5.	HCl	.....	.....	.....
6.	NaOH	.....	.....	.....
7.	Air sabun	.....	.....	.....
8.	NaCl	.....	.....	.....
9.	Amonia	.....	.....	.....
10.	Air sumur	.....	.....	.....

Pertanyaan dan Tugas:

1. Kelompokkan larutan-larutan tersebut berdasarkan sifatnya (asam, basa, atau netral)!
2. Buatlah laporan hasil percobaan! Presentasikan dan diskusikan dengan teman kalian!

Kerjakan tugas berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, mengembangkan **kecakapan personal**, dan **akademik** kalian!

Tugas 6.1

1. Jelaskan pengertian asam-basa menurut Arrhenius!
2. Berapa konsentrasi H^+ jika dalam suatu larutan terdapat ion OH^- sebanyak $2 \times 10^{-3} M$ (diketahui $K_w = 10^{-14}$)?
3. Suatu larutan yang tidak berwarna, ketika dimasukkan kertas lakmus merah, warna kertas lakmus itu berubah menjadi biru. Bagaimana sifat larutan tersebut, asam, atau basa? Jelaskan jawaban kalian!
4. Ali melakukan percobaan pengenalan asam-basa di laboratorium dengan hasil percobaan sebagai berikut.

Larutan	Perubahan Warna	
	Lakmus Merah	Lakmus Biru
Air sumur	Merah	Biru
Air jeruk	Merah	Merah
Air gula	Merah	Biru
Accu zuur	Merah	Merah
Air kapur	Biru	Biru

Berdasarkan data di atas, tentukan sifat masing-masing larutan, asam, basa, atau netral!

Catatan: Tugas dikumpulkan dan dinilai oleh guru.

B. Kekuatan Asam-Basa

Larutan asam-basa dibedakan menjadi asam basa kuat dan lemah. Kekuatan ini tergantung pada terionisasi seluruhnya atau sebagian dalam air.

1. Hubungan pH Larutan dengan Kekuatan Asam-Basa

pH larutan digunakan untuk menentukan kekuatan asam-basa. pH asam kuat lebih kecil daripada pH asam lemah, sedangkan pOH basa kuat lebih kecil daripada pOH basa lemah.

Asam kuat akan mengion sempurna menghasilkan H^+ dalam air sehingga mempunyai harga pH kecil (berkisar 1-2). Asam lemah dalam air akan menghasilkan H^+ secara tidak sempurna sehingga mempunyai pH yang lebih kecil (berkisar 3-5). Demikian pula basa kuat dalam air menghasilkan OH^- secara sempurna, sehingga mempunyai harga pOH yang relatif lebih kecil (harga pH besar, sekitar 12-13) daripada basa lemah yang mengion sebagian.

2. Derajat Ionisasi (α)

Kemampuan suatu zat menghasilkan ion H^+ menentukan kekuatan asam zat tersebut. Sifat asam akan semakin kuat, jika semakin banyak ion H^+ yang dihasilkan. Demikian pula dengan kekuatan basa, ditentukan oleh kemampuan menghasilkan ion OH^- . Semakin banyak ion OH^- yang dihasilkan, sifat basa semakin kuat.

Jumlah ion H^+ atau ion OH^- yang dihasilkan ditentukan oleh nilai **derajat ionisasi** (α). Derajat ionisasi (α) adalah perbandingan

antara jumlah mol zat yang terionisasi dengan jumlah mol mula-mula yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\alpha = \frac{\text{jumlah mol terionisasi}}{\text{jumlah mol mula-mula}}$$

Asam-basa yang mempunyai derajat ionisasi besar (mendekati 1) merupakan *elektrolit kuat*, sedangkan yang derajat ionisasinya kecil (mendekati 0) disebut *elektrolit lemah*. Perhatikan Gambar 6.6 berikut. Elektrolit kuat apabila diuji dengan alat uji elektrolit akan menghasilkan nyala lampu yang terang, sedangkan elektrolit lemah bila diuji dengan alat uji elektrolit akan menghasilkan nyala lampu yang redup.



Sumber: *Chemistry of Experimental Science*

Gambar 6.6 Elektrolit kuat akan memberikan nyala lampu yang terang sedang elektrolit lemah memberikan nyala lampu yang redup

3. Perhitungan $[H^+]$ dan $[OH^-]$

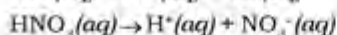
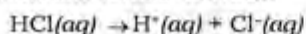
Konsentrasi ion H^+ dan OH^- dinyatakan dalam satuan molar (M). Kemolaran menyatakan jumlah mol zat terlarut dalam satu liter larutan. Kemolaran (M) sama dengan jumlah mol (n) zat terlarut dibagi dengan jumlah liter volume larutan (V), dengan satuan $mol\ L^{-1}$.

$$M = \frac{n}{V} \quad \text{atau} \quad M = \frac{\text{massa (gram)}}{M_r} \times \frac{1000}{V(\text{mL})}$$

a. Asam Kuat

Asam kuat merupakan elektrolit kuat, mengion sempurna membentuk ion-ionnya dalam air, misalnya HCl (Gambar 6.7). Jumlah mol zat yang terionisasi sama dengan jumlah zat mula-mula. Dengan demikian, harga derajat ionisasinya sama dengan satu ($\alpha = 1$).

Perhatikan reaksi berikut!



Konsentrasi ion H^+ dalam larutan asam kuat sama dengan konsentrasi asam (M_a) dikalikan dengan jumlah atom H^+ yang dilepas (valensi asam). Dapat dirumuskan:

$$[\text{H}^+] = a \times M_a$$

Keterangan:

a = jumlah atom H^+ yang dilepas setiap molekul asam (valensi asam)

M_a = konsentrasi asam



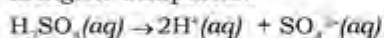
Contoh soal 6.2:

Tentukan konsentrasi ion H^+ dalam masing-masing larutan berikut!

- H_2SO_4 0,01 M.
- 3,65 g HCl ($M_r = 36,5$) dalam air sehingga terbentuk larutan sebanyak 500 mL.

Penyelesaian:

- Asam sulfat merupakan asam kuat, sehingga dalam larutan mengion sempurna.

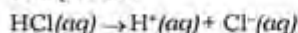


$$\begin{aligned} [\text{H}^+] &= a \times M_a \\ &= 2 \times 0,01 \text{ M} \\ &= 0,02 \text{ M} \end{aligned}$$

Jadi konsentrasi ion $\text{H}^+ = 0,02 \text{ M}$

$$\begin{aligned} \text{b. } M &= \frac{\text{massa}}{M_r} \times \frac{1000}{V} = \frac{3,65}{36,5} \times \frac{1000}{500} \\ &= 0,2 \text{ M} \end{aligned}$$

HCl merupakan asam kuat, sehingga dalam larutan mengion sempurna.



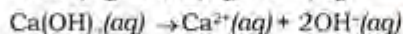
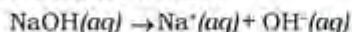
$$\begin{aligned} [\text{H}^+] &= a \times M_a \\ &= 1 \times 0,2 \text{ M} = 0,2 \text{ M} \end{aligned}$$

Jadi konsentrasi ion $\text{H}^+ = 0,2 \text{ M}$

b. Basa Kuat

Basa kuat merupakan elektrolit kuat, mengion sempurna membentuk ion-ionnya dalam air, misalnya NaOH. Basa ini merupakan bahan dasar sabun dan detergen (Gambar 6.8). Jumlah mol zat yang terionisasi sama dengan jumlah zat mula-mula.

Dengan demikian, harga derajat ionisasinya sama dengan satu ($\alpha = 1$). Perhatikan reaksi berikut!



Konsentrasi ion OH^- dalam larutan basa kuat sama dengan konsentrasi basa (M_b) dikalikan dengan jumlah atom OH^- yang dilepas (valensi basa). Dapat dirumuskan:

$$[\text{OH}^-] = b \times M_b$$

Keterangan:

b = jumlah ion OH^- yang dilepas setiap molekul basa (valensi basa)

M_b = konsentrasi basa

Contoh soal 6.3

Tentukan konsentrasi ion OH^- dalam larutan berikut ini!

- larutan $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 0,01 M,
- larutan yang terbuat dari 2,8 g KOH ($M_r = 56$) dalam air hingga volume 250 mL.

Penyelesaian:

- Larutan $\text{Ba}(\text{OH})_2$ merupakan basa kuat, sehingga akan mengion sempurna.



$$\begin{aligned} [\text{OH}^-] &= b \times M_b \\ &= 2 \times 0,01 \text{ M} \\ &= 0,02 \text{ M} \end{aligned}$$

Jadi konsentrasi ion $\text{OH}^- = 0,02 \text{ M}$

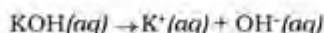
$$\begin{aligned} \text{b. } M &= \frac{\text{massa}}{M_r} \times \frac{1000}{V} = \frac{2,8}{56} \times \frac{1000}{250} \\ &= 0,2 \text{ M} \end{aligned}$$

Larutan KOH merupakan basa kuat, sehingga akan mengion sempurna.



Sumber: Salim dan Khotulung

Gambar 6.8 Natrium hidroksida merupakan bahan dasar sabun dan detergen

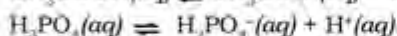
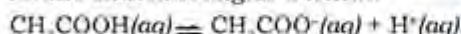


$$[\text{OH}^-] = b \times M_b \\ = 1 \times 0,2 \text{ M} = 0,2 \text{ M}$$

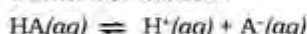
Jadi konsentrasi $\text{OH}^- = 0,2 \text{ M}$

c. Asam Lemah

Senyawa asam lemah merupakan elektrolit lemah, terionisasi di dalam air tetapi tidak sempurna. Salah satu contoh adalah asam format (HCOOH) yang terdapat pada semut merah (Gambar 6.9). Harga derajat ionisasi asam lemah berkisar antara nol sampai satu ($0 < \alpha < 1$). Perhatikan persamaan reaksi kesetimbangan berikut!



Perhatikan reaksi ionisasi asam lemah HA berikut!



Reaksi kesetimbangan di atas memiliki harga tetapan kesetimbangan ionisasi asam lemah (K_a) yang dirumuskan sebagai berikut.

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

Misal konsentrasi awal asam lemah adalah M_a dengan derajat ionisasi α , maka:



$$\text{Mula-mula : } M_a \qquad \qquad \qquad - \qquad \qquad -$$

$$\text{Terurai : } \alpha \times M_a \qquad \qquad \qquad \alpha \times M_a \qquad \alpha \times M_a$$

$$\text{Akhir : } M_a - (\alpha \times M_a) \qquad \qquad \alpha \times M_a \qquad \alpha \times M_a$$

Dari reaksi kesetimbangan di atas terlihat bahwa $[\text{H}^+] = [\text{A}^-]$, sehingga:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{H}^+]}{M_a - (\alpha \times M_a)} = \frac{[\text{H}^+]^2}{M_a(1-\alpha)}$$

$$[\text{H}^+]^2 = K_a \times M_a(1-\alpha)$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \times M_a(1-\alpha)}$$



Sumber: *3D Image*

Gambar 6.9 Semut merah mengeluarkan cairan yang mengandung asam format, merupakan asam lemah, saat menggigit.

Harga α asam lemah pada umumnya jauh lebih kecil daripada satu, sehingga $1 - \alpha$ dapat dianggap 1. Persamaan di atas menjadi:

$$[H^+] = \sqrt{K_a \times M_a}$$

Dalam air, asam lemah HA sedikit terionisasi menghasilkan ion H^+ dan ion A^- . Jika konsentrasi awal asam lemah tersebut adalah M_a , maka:

$$[H^+] = \alpha \times M_a$$

Hubungan antara α dan K_a dapat dituliskan sebagai berikut.

$$[H^+] = \sqrt{K_a \times M_a}$$

$$\alpha \times M_a = \sqrt{K_a \times M_a}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a \times M_a}{M_a^2}}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{M_a}}$$

Untuk lebih memahami materi di atas, perhatikan contoh soal berikut!

Contoh soal 6.4:

Suatu larutan asam lemah HA 0,2 M terurai 20%. Tentukan $[H^+]$ dan K_a larutan tersebut!

Penyelesaian:

$$\alpha = \frac{20\%}{100\%} = 0,2$$

$$\begin{aligned} [H^+] &= \alpha \times M_a \\ &= 0,2 \times 0,2 \\ &= 0,04 \text{ M} \end{aligned}$$

Harga α cukup besar, sehingga nilai $1 - \alpha$ harus diperhitungkan.

$$[H^+] = \sqrt{K_a \times M_a (1 - \alpha)}$$

$$0,04 = \sqrt{K_a \times 0,2 (1 - 0,2)}$$

$$\begin{aligned} K_a &= \frac{0,0016}{0,16} \\ &= 1 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

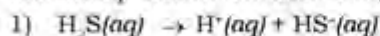
Jadi, $[H^+] = 0,04 \text{ M}$ dan harga $K_a = 1 \times 10^{-2}$.

Contoh soal 6.5:

Larutan H_2S 0,1 M yang mempunyai dua harga K_a , yaitu $K_{a1} = 10^{-7}$ dan $K_{a2} = 10^{-14}$. Tentukan konsentrasi H^+ dalam larutan!

Penyelesaian:

Larutan H_2S (asam diprotik) mengalami reaksi ionisasi secara bertahap. Masing-masing reaksi ionisasi memiliki K_a dan $[\text{H}^+]$ yang berbeda. Sehingga $[\text{H}^+]$ asam lemah tersebut dapat dihitung melalui dua tahap reaksi ionisasi sebagai berikut.



$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]}$$

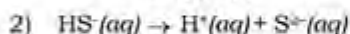
$$10^{-7} = \frac{x^2}{0,1}$$

$$x^2 = 10^{-8}$$

$$x = 10^{-4}$$

$$[\text{H}^+]_1 = 10^{-4} \text{ M}$$

$$[\text{H}^+]_1 = [\text{HS}^-] \\ = 10^{-4} \text{ M}$$



$$K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]}$$

$$10^{-14} = \frac{x^2}{10^{-4}}$$

$$x^2 = 10^{-18}$$

$$x = 10^{-9}$$

$$[\text{H}^+]_2 = 10^{-9} \text{ M}$$

Konsentrasi-konsentrasi ion H^+ tersebut dijumlahkan.

$$[\text{H}^+]_{\text{total}} = [\text{H}^+]_{(1)} + [\text{H}^+]_{(2)} \\ = 10^{-4} \text{ M} + 10^{-9} \text{ M}$$

Harga $[\text{H}^+]_{(2)}$ yang jauh lebih kecil daripada $[\text{H}^+]_{(1)}$, maka $[\text{H}^+]_{(2)}$ dapat diabaikan, sehingga:

$$[\text{H}^+]_{\text{total}} = [\text{H}^+]_{(1)} \\ = 10^{-4} \text{ M}$$

Jadi konsentrasi H^+ dalam larutan adalah 10^{-4} M .

d. Basa Lemah

Senyawa basa lemah merupakan elektrolit lemah, terionisasi di dalam air tetapi tidak sempurna. Harga derajat ionisasi basa lemah berkisar antara nol sampai satu ($0 < \alpha < 1$). Perhatikan persamaan reaksi kesetimbangan berikut!



Dengan menggunakan prinsip yang sama dengan perhitungan konsentrasi ion H^+ dalam asam lemah, diperoleh rumus sebagai berikut.

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \times M_b (1 - \alpha)}$$

Senyawa basa lemah pada umumnya memiliki harga α yang sangat kecil, sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian persamaan di atas menjadi:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \times M_b}$$

Adapun hubungan antara α dengan K_b dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{M_b}}$$

* Contoh soal 6.6:

Larutan NH_3 dibuat dengan melarutkan 4,48 L (STP) gas NH_3 dalam 2 L air (volume larutan dianggap sama dengan volume air = 2 L. $K_b \text{ NH}_3 = 10^{-5}$). Tentukan besarnya $[\text{OH}^-]$!

Penyelesaian:

$$\text{Jumlah mol NH}_3 = \frac{4,48}{22,4} = 0,2 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Molaritas NH}_3 &= \frac{\text{jumlah mol NH}_3}{V} \\ &= \frac{0,2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,1 \text{ M} \end{aligned}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \times M_b} = \sqrt{10^{-5} \times 0,1} = 10^{-3} \text{ M}$$

Jadi konsentrasi OH^- dalam larutan tersebut adalah 10^{-3} M .

Kerjakan tugas berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, mengembangkan **kecakapan personal**, dan **akademik** kalian!

Tugas 6.2

1. Tentukan konsentrasi ion H^+ larutan berikut!
 - a. 200 mL larutan HNO_3 0,02 M,
 - b. Larutan yang terbuat dari 9,8 g H_2SO_4 ($M_r = 98$) dalam air hingga volume 2 L.
2. Tentukan konsentrasi OH^- larutan berikut!
 - a. 150 mL larutan $NaOH$ 0,02 M,
 - b. Larutan yang terbuat dari 5 gram $NaOH$ ($M_r = 40$) dalam air hingga volume 500 mL.
3. Sebanyak 500 mL larutan HF 0,1 M memiliki $K_a = 6,8 \times 10^{-4}$. Tentukan konsentrasi ion H^+ dalam larutan tersebut!
4. Larutan H_3PO_4 mempunyai tiga harga K_{a1} , $K_{a2} = 7,1 \times 10^{-3}$, $K_{a2} = 6,3 \times 10^{-8}$, dan $K_{a3} = 4,3 \times 10^{-13}$. Tentukan konsentrasi H^+ dalam larutan!
5. Suatu basa lemah BOH 0,1 M dalam air terionisasi 25%. Tentukan konsentrasi ion OH^- dan K_b !
6. Terdapat 600 mL larutan NH_4OH yang dibuat dengan cara mengalirkan 0,672 L gas NH_3 dalam keadaan STP. Jika $K_b NH_4OH = 1,8 \times 10^{-5}$, tentukan konsentrasi OH^- !

C. Perhitungan dan Pengukuran pH

Dengan menghitung dan mengukur harga pH suatu larutan, kita dapat membedakan larutan bersifat asam atau basa. Semakin rendah nilai pH, larutan tersebut semakin asam dan semakin tinggi nilai pH, larutan tersebut semakin basa.

1. Perhitungan pH

Perhitungan pH asam-basa kuat berbeda dengan asam-basa lemah.

a. pH Larutan Asam Kuat dan Basa Kuat

Untuk menentukan pH asam kuat, harus ditentukan konsentrasi ion H^+ terlebih dahulu. pH dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$pH = -\log [H^+]$$

Untuk basa kuat, harus ditentukan konsentrasi ion OH^- terlebih dahulu, kemudian harga pOH dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

Nilai pH basa kuat dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

* Contoh soal 6.7:

Tentukan harga pH 100 mL larutan HCl 10^{-3} M!

Penyelesaian:

$$[\text{H}^+] = [\text{HCl}] = 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log 10^{-3} = 3$$

Jadi harga pH larutan tersebut adalah 3.

b. pH Larutan Asam Lemah dan Basa Lemah

Perhitungan pH asam lemah dan basa lemah hampir sama dengan perhitungan pH asam kuat dan basa kuat. Hanya saja pada perhitungan $[\text{H}^+]$ dan $[\text{OH}^-]$ untuk larutan asam lemah dan basa lemah melibatkan tetapan kesetimbangan asam lemah (K_a) dan tetapan kesetimbangan basa lemah (K_b).

* Contoh soal 6.8:

Tentukan harga pH larutan-larutan berikut!

- larutan asam lemah HX 0,02 M ($K_a = 2 \times 10^{-4}$),
- 100 mL basa lemah BOH yang di dalam air terionisasi 1% ($K_b = 10^{-4}$).

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{a. } [\text{H}^+] &= \sqrt{K_a \times M_a} & \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] \\ &= \sqrt{2 \times 10^{-4} \times 0,02} & &= -\log 2 \times 10^{-3} \\ &= 2 \times 10^{-3} \text{ M} & &= 3 - \log 2 = 2,7 \end{aligned}$$

Jadi, pH larutan asam lemah HX = 2,7

$$\text{b. } \alpha = 1\% = 0,01$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{M_b}}$$

$$0,01 = \sqrt{\frac{10^{-4}}{M_b}}$$

$$M_b = \frac{10^{-4}}{10^{-4}} = 1 \text{ M}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \times M_b}$$

$$= \sqrt{10^{-4} \times 1} = 10^{-2} \text{ M}$$

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 10^{-2} \text{ M} = 2$$

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 14 - 2 = 12$$

Jadi, pH larutan basa lemah BOH = 12

Kerjakan tugas berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, mengembangkan **kecakapan personal**, dan **akademik** kalian!

Tugas 6.3

1. Tentukan pH larutan asam dan basa kuat berikut ini!
 - a. HCl 0,02 M
 - c. KOH 0,2 M
 - b. H_2SO_4 0,01 M
 - d. $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 10^{-4} M
2. Tentukan pH larutan asam dan basa lemah berikut!
 - a. HCOOH 0,01 M ($K_a = 1,8 \times 10^{-4}$)
 - b. HF 0,001 M ($K_a = 6,8 \times 10^{-4}$)
 - c. NH_4OH 0,01 M ($K_b = 1,8 \times 10^{-5}$)
3. Jika larutan asam lemah HA 0,1 M mempunyai pH yang sama dengan larutan asam kuat HCl 0,01 M, tentukan tetapan ionisasi asam lemah HA!
4. Jika larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0,0001 M memiliki pH yang sama dengan larutan basa lemah BOH 0,2 M, tentukan tetapan ionisasi basa lemah BOH!

Catatan: Tugas dikumpulkan dan dinilai oleh guru.

2. Pengukuran pH

Pengukuran pH bisa menggunakan indikator universal, pH meter, atau indikator alami.

a. Larutan Indikator

Pada pembahasan awal bab ini telah disebutkan bahwa indikator asam-basa adalah zat-zat yang memiliki warna berbeda dalam larutan yang bersifat asam dan larutan yang bersifat basa. Perubahan warna larutan indikator memiliki rentang (trayek)

tertentu yang disebut **trayek indikator**. Perhatikan harga trayek pH beberapa larutan indikator berikut ini!

Tabel 6.3 Trayek Perubahan Warna Beberapa Indikator

Indikator	Warna		Rentang
	Asam	Basa	
Metil jingga	Merah	Kuning	3,2 – 4,4
Bromkesol Hijau	Kuning	Biru	3,8 – 5,4
Metil Merah	Merah	Kuning	4,8 – 6,0
Bromtimol Biru	Kuning	Biru	6,0 – 7,6
Fenol Merah	Kuning	Merah	6,8 – 8,4
Fenoltalein	Tak Berwarna	Merah	8,2 – 10,0
Alizarin Kuning	Tak Berwarna	Ungu	10,1 – 12,0

b. Indikator Universal dan pH Meter

Alat yang sering digunakan di laboratorium untuk menentukan pH suatu larutan adalah kertas indikator universal dan pH meter (Gambar 6.10). Dengan harga pH tersebut, larutan dapat dikelompokkan bersifat asam ($\text{pH} < 7$), netral ($\text{pH} = 7$), dan basa ($\text{pH} > 7$). Dari perubahan warna kertas indikator yang dicelupkan ke dalam larutan, perkiraan pH dapat dibandingkan sesuai yang tertera dalam kemasan.

pH dapat ditentukan lebih tepat dengan menggunakan pH meter, berdasarkan elektrolit larutan asam dan basa. pH meter mempunyai bagian utama berupa sebuah elektrode yang peka terhadap konsentrasi ion H^+ . Harga pH akan ditunjukkan oleh pH meter, saat elektrode dicelupkan ke dalam zat.

c. Indikator Alami

Kimia merupakan ilmu yang dekat dengan kehidupan sehari-hari. Indikator asam-basa dapat diperoleh dari bahan-bahan alam di sekitar kita. Misalnya, beberapa jenis tumbuhan, seperti mahkota bunga sepatu, kunyit, kol merah, dan kulit manggis.

Ekstrak kunyit berwarna kuning, tetapi dalam larutan asam warna kuning dari kunyit akan menjadi lebih cerah. Jika bereaksi dengan larutan basa akan berwarna jingga kecokelatan.



Sumber: Dok. Penerbit

Gambar 6.10 pH larutan dapat diukur menggunakan pH meter

Ekstrak kol merah dapat digunakan sebagai indikator asam basa alami (Gambar 6.11). Apabila dalam lingkungan asam berubah menjadi merah muda. Adapun dalam basa berubah menjadi hijau kebiruan. Di beberapa tempat terdapat sejenis bunga yang warnanya bergantung dari pH tanah tempat tumbuh bunga tersebut. Misalnya spesies bunga *Hydrangea*. *Hydrangea* akan berwarna biru jika tumbuh di tanah asam dan berwarna merah muda jika tumbuh di daerah netral atau basa.



Sumber: Dok. Ipsarfil

Gambar 6.11 Kol merah, bila dibuat ekstrak, dapat digunakan sebagai indikator asam-basa alami

Lakukan kegiatan berikut untuk mengembangkan **kreativitas**, **wawasan ke-Indonesiaan**, dan **kontekstual** kalian!

Kegiatan 6.2

Pembuatan Indikator Alami

Tujuan:

Membuat indikator asam-basa dari bunga sepatu dan mengujinya.

Alat:

- | | |
|------------------|----------------|
| 1. Pisau | 4. Pipet tetes |
| 2. Saringan | 5. Gelas kimia |
| 3. Tabung reaksi | 6. Spatula |

Bahan:

- | | |
|-----------------|--------------|
| 1. Bunga sepatu | 3. Air sabun |
| 2. Asam cuka | 4. Akuades |

Cara Kerja:

- Potong kecil-kecil 5 bunga sepatu, kemudian rendam dalam 50 mL akuades kurang lebih 30 menit kemudian disaring.

2. Larutkan satu spatula asam cuka dalam gelas kimia dan beri tanda A.
3. Larutkan satu spatula air sabun dalam gelas kimia dan beri tanda B.
4. Masukkan akuades dalam gelas kimia dan beri tanda C.
5. Teteskan masing-masing 10 tetes larutan bunga sepatu ke dalam gelas kimia A, B, dan C.
6. Amati perubahan warna yang terjadi. Jika larutan berubah menjadi merah cerah, berarti larutan bersifat asam. Apabila larutan berubah menjadi hijau berarti larutan bersifat basa.

Hasil Pengamatan:

Gelas Kimia	Perubahan Warna
A
B
C

Pertanyaan dan Tugas:

1. Sebutkan bahan alam lain di sekitar kalian yang dapat digunakan sebagai indikator asam-basa?
2. Buatlah laporan hasil percobaan!

D. Reaksi Asam-Basa dan Perhitungannya

Apabila larutan asam dan basa direaksikan, maka akan dihasilkan garam dan air. pH campuran tergantung pada jenis asam dan basa yang direaksikan.



Ada tiga kemungkinan hasil reaksi pencampuran asam dan basa, yaitu asam kuat dan basa kuat habis bereaksi, asam kuat berlebih dan basa kuat habis bereaksi, serta asam kuat habis bereaksi dan basa kuat berlebih.

Jika asam kuat dan basa kuat habis bereaksi, maka akan memberikan pH campuran sama dengan 7 (campuran bersifat netral). Pada kondisi ini, setelah reaksi hanya terdapat garam dan air.

Jika asam kuat berlebih dan basa kuat habis bereaksi, maka campuran akan bersifat asam ($\text{pH} < 7$). Harga pH dapat dihitung dari konsentrasi ion H^+ sisa asam kuat, sedangkan jumlah garam yang terbentuk dapat dihitung berdasarkan pereaksi yang habis bereaksi yaitu basa kuat.

Jika asam kuat habis bereaksi dan basa kuat berlebih, maka campuran akan bersifat basa ($\text{pH} > 7$). Harga pH dihitung dari konsentrasi ion OH^- sisa basa kuat. Jumlah garam yang terbentuk dihitung dari pereaksi yang habis terpakai, yaitu asam kuat.

Contoh soal 6.9:

Jika 50 mL larutan HCl 0,1 M dan 50 mL larutan NaOH 0,1 M dicampurkan, tentukan pH campuran tersebut dan jumlah garam NaCl ($M_r = 58,5$) yang terbentuk!

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}\text{Jumlah mmol HCl} &= \text{volume HCl} \times \text{kemolaran HCl} \\ &= 50 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M} \\ &= 5 \text{ mmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah mmol NaOH} &= \text{volume NaOH} \times \text{kemolaran NaOH} \\ &= 50 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M} \\ &= 5 \text{ mmol}\end{aligned}$$

Reaksi yang terjadi:



Perbandingan jumlah mmol HCl dan NaOH (5 : 5) sesuai dengan perbandingan koefisien reaksi (1 : 1), kedua larutan habis bereaksi. Sehingga, pH larutan = 7.

Dari persamaan reaksi di atas, dapat diketahui:

$$\begin{aligned}\text{Jumlah mmol NaCl} &= \text{jumlah mmol HCl} = \text{jumlah mmol NaOH} \\ &= 5 \text{ mmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa NaCl} &= 5 \text{ mmol} \times 58,5 \text{ mg mmol}^{-1} \\ &= 292,5 \text{ mg}\end{aligned}$$

Jadi, pH campuran 7 dan massa garam NaCl yang dihasilkan sebanyak 292,5 mg.

E. Pencemaran Air

Air merupakan pelarut yang baik, sehingga air di alam tidak pernah murni. Air di alam mengandung zat-zat terlarut maupun zat tidak larut serta mikroorganisme. Apabila kandungan air tersebut tidak mengganggu kesehatan manusia, maka air dianggap bersih.

Perhatikan Gambar 6.12 di samping. Air dikatakan tercemar apabila terdapat gangguan terhadap kualitas air, sehingga air tidak dapat digunakan untuk tujuan penggunaannya. Air tercemar akibat masuknya makhluk hidup, zat, energi ke dalam air sehingga kualitas air turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai peruntukannya.

Komposisi air kotor ditentukan melalui berbagai macam analisis fisika, kimia, dan biologi. Analisis dimaksudkan untuk menentukan kandungan zat padat, BOD, COD, dan pH.

Air mengandung oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen, DO*) dengan kadar sekitar 10 ppm dalam air bersih pada suhu kamar. Agar ikan di perairan dapat hidup, air harus mengandung minimal 5 ppm oksigen terlarut.

BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah banyaknya oksigen yang digunakan bakteri untuk menguraikan sampah organik pada air limbah. Sedangkan COD (*Chemical Oxygen Demand*) menyatakan jumlah oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi limbah organik dalam air secara kimiawi.

Air murni mempunyai pH = 7. Air dapat dianggap bersih jika pH-nya berkisar antara 6,5 – 8,5. Namun tidak berarti air yang mempunyai pH tersebut dapat selalu dikatakan bersih, karena banyak zat yang tidak menaikkan pH.

Sumber utama pencemaran air adalah limbah industri. Salah satu limbah industri yang berbahaya adalah logam berat, seperti raksa, timbal, krom, dan kadmium. Pada tahun 1960, di Jepang tercatat 111 orang meninggal dunia karena memakan ikan yang terkontaminasi raksa di perairan teluk Minamata. Hal serupa juga terjadi pada tahun 1966 di mana 20 orang meninggal dan 45 cedera akibat keracunan raksa di Guatemala.



Sumber: CD Encarta

Gambar 6.12 Pencemaran air

Selain itu, bahan pencemar air adalah limbah pertanian dan limbah rumah tangga. Pupuk atau pestisida yang digunakan dalam pertanian dapat tercuci oleh air sehingga mencemari sungai atau danau.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kreativitas**, **wawasan ke-Indonesiaan**, dan **kontekstual** kalian!

Tugas 6.4

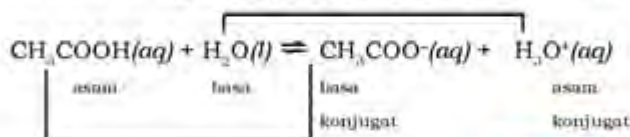
1. Carilah informasi berbagai jenis industri di lingkungan kalian dan limbah cair yang dihasilkan!
2. Carilah informasi tentang kasus pencemaran air di Indonesia! Diskusikan kasus itu dengan teman-teman kalian dan berilah komentar tentang kasus itu!

F. Teori Asam-Basa Brønsted-Lowry

Teori asam-basa yang lebih luas dan tidak terbatas hanya pada senyawa asam-basa dalam pelarut air adalah teori asam-basa yang dikemukakan **Johanes N. Brønsted** dan **Thomas M. Lowry** pada tahun 1923 yang bekerja secara terpisah.

1. Definisi

Menurut Brønsted-Lowry, **asam** adalah senyawa yang dapat memberikan proton (H^+) kepada basa atau suatu donor proton, sedangkan **basa** adalah senyawa yang dapat menerima proton (H^+) dari asam atau sebagai akseptor proton. Perhatikan reaksi berikut!



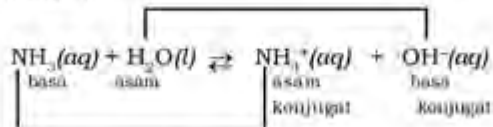
Pada reaksi tersebut, molekul CH_3COOH memberikan proton (H^+) kepada molekul H_2O (penerima proton). Jadi CH_3COOH bertindak sebagai asam dan H_2O sebagai basa. Pada reaksi sebaliknya, CH_3COO^- menerima proton dari H_3O^+

Fokus

Asam-basa menurut Brønsted-Lowry:
Asam : donor proton (H^+)
Basa : akseptor proton (H^+)

sehingga CH_3COO^- bertindak sebagai basa (basa konjugat) dan H_2O bertindak sebagai asam (asam konjugat).

Demikian pula yang terjadi pada reaksi antara NH_3 dan H_2O . NH_3 bertindak sebagai basa (menerima proton) dan H_2O bertindak sebagai asam (donor proton). Asam konjugatnya adalah NH_4^+ dan basa konjugatnya adalah OH^- . Untuk lebih jelasnya, perhatikan reaksi berikut!



Pada persamaan reaksi tersebut, terlihat bahwa H_2O yang bereaksi dengan CH_3COOH bersifat basa, sedangkan H_2O yang bereaksi dengan NH_3 bersifat asam. Senyawa seperti itu disebut senyawa yang bersifat *amfiprotik*, artinya dapat bersifat sebagai asam dan dapat juga bersifat sebagai basa.

2. Keunggulan dan Kelemahan Teori Asam-Basa Brønsted-Lowry

Teori asam-basa Brønsted-Lowry mempunyai keunggulan dan kelemahan sebagai berikut.

a. Keunggulan

Dalam teori asam-basa Brønsted-Lowry tidak ada zat yang bersifat netral. Menurut Brønsted-Lowry, setiap zat akan bersifat asam atau basa bergantung apakah ia menerima atau melepaskan proton (ion H^+). Selain itu, teori asam-basa Brønsted-Lowry bersifat luas, tidak hanya bergantung pada pelepasan ion H^+ atau OH^- . Misalnya, senyawa NH_3 atau ion NH_2^- . Senyawa itu sukar ditentukan sifat asam-basanya berdasarkan teori asam-basa Arrhenius. Berdasarkan teori asam-basa Brønsted-Lowry, senyawa tersebut dapat ditentukan sifatnya sesuai pasangan reaksinya.

b. Kelemahan

Kelemahan utama dari teori asam-basa Brønsted-Lowry adalah bahwa untuk pelarut yang tidak mengandung proton tidak dapat digunakan. Kelemahan lainnya, sifat suatu zat tidak pasti dan sangat bergantung pada pasangan reaksinya. Misalnya, H_2O bersifat asam jika bereaksi dengan NH_3 tapi bersifat basa jika bereaksi dengan CH_3COOH .

Tokoh Kimia

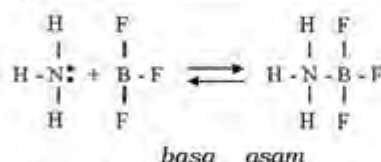


Johanes Nicolas Brønsted (1879 – 1947), seorang ahli kimia dari Denmark dan Thomas M. Lowry, kimiawan dari Inggris, pada tahun yang bersamaan (1923), mengemukakan suatu konsep tentang asam-basa. Konsep tersebut mereka kemukakan, walaupun bekerja sendiri-sendiri, berdasarkan perpindahan proton (H^+). Menurut mereka, asam adalah spesi yang memberi proton, sedangkan basa adalah spesi yang menerima proton pada suatu reaksi pemindahan proton. Dapatkah kalian memikirkan konsep asam dan basa yang lain?

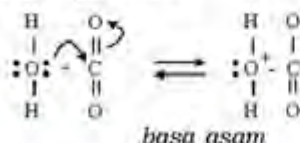
Sumber: www.chemistry.org

G. Teori Asam - Basa Lewis

Teori asam-basa terus berkembang dari waktu ke waktu. Pada tahun 1923, **Gilbert N. Lewis**, seorang ahli kimia dari Amerika Serikat, mengemukakan teorinya tentang asam-basa. Lewis mendefinisikan asam-basa berdasarkan serah terima pasangan elektron. Menurutnya, **asam** adalah partikel (ion atau molekul) yang dapat menerima (akseptor) pasangan elektron, sedangkan **basa** adalah partikel (ion atau molekul) yang memberi (donor) pasangan elektron. Reaksi asam-basa menurut Lewis berkaitan dengan transfer pasangan elektron yang terjadi pada ikatan kovalen koordinasi. Perhatikan reaksi berikut!



Pada reaksi antara BF_3 dan NH_3 , BF_3 bertindak sebagai asam, sedangkan NH_3 bertindak sebagai basa.



Fokus

Asam-basa menurut Lewis:

Asam : akseptor pasangan elektron

Basa : donor pasangan elektron

Pada reaksi di atas, H_2O bertindak sebagai basa, sedangkan CO_2 bertindak sebagai asam.

Keunggulan teori asam-basa Lewis adalah dapat menggambarkan asam-basa yang tidak dapat digambarkan oleh Arrhenius maupun Brønsted-Lowry. Teori asam-basa Lewis memperluas pengertian teori asam-basa, karena menurutnya asam-basa bukan hanya pelepasan ion H^+ atau OH^- ataupun transfer proton, melainkan senyawa yang reaksinya melibatkan pasangan elektron.

Kelemahan teori asam-basa Lewis adalah teori ini agak sukar menggambarkan reaksi asam-basa, seperti reaksi antara ion Fe^{3+} dan CN^- karena keduanya tidak melibatkan ion H^+ atau ion OH^- . Selain itu, teori ini juga agak sukar menentukan kekuatan asam-basa dari reaksi yang terjadi.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas 6.5

1. Sebutkan fungsi setiap spesi, sebagai asam atau sebagai basa, pada reaksi asam-basa berikut:
 - a. $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+} + \text{H}_3\text{O}^+$
 - b. $\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HS}^- + \text{OH}^-$
2. Tunjukkan pasangan asam-basa konjugasi pada setiap reaksi pada soal nomor 1 di atas!
3. Tuliskan rumus asam konjugat dan basa konjugat dari spesi H_2O dan HSO_4^- !

Serba-serbi Kimia

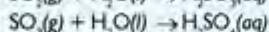
Hujan Asam

Hujan asam merupakan masalah lingkungan yang berkembang dewasa ini. Penyebab dan dampak dari hujan asam telah diketahui. Masalahnya, apa yang dapat kita lakukan untuk mencegahnya? Coba kalian pikirkan!

Air hujan di Indonesia sudah membahayakan makhluk hidup. Dalam lima tahun terakhir, baik Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) maupun Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) paling tidak sudah mendapatkan data yang mengarah pada hal tersebut. Dalam pantauan Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan (Sarpedal) KLH sejak Mei 1998, Indonesia sudah dicengkeram hujan dengan pH yang berbahaya. Menurut data sampel air hujan di berbagai tempat, rata-rata pH yang terukur berkisar antara 4,0 - 6,0. Karena

batas netral asam-basa adalah 7, sementara ambang batas pH air hujan normal adalah 5,6, maka pH air hujan antara 4 sampai 5,6 praktis sudah masuk kategori hujan asam.

Penyebab utama hujan asam adalah polusi dari kendaraan bermotor ataupun pabrik. Salah satu gas buangan industri adalah sulfur dioksida (SO_2), reaksinya dengan air di udara adalah:



Polutan lainnya adalah nitrogen dioksida (NO_2) yang dihasilkan dari reaksi N_2 dan O_2 pada pembakaran batu bara. Senyawa NO_2 ini bila larut dalam air akan membentuk HNO_3 dan gas NO_2 .

Hujan asam akan memberikan dampak yang negatif pada tanaman, yaitu menghalangi perkecambahan dan reproduksi yang secara langsung akan meracuni tunas yang halus berikut akarnya. Bagi organisme air, hujan asam akan menghambat metabolisme biota air. Selain itu, hujan asam juga merusak bangunan. Kandungan sulfatnya bersifat korosif terhadap bahan-bahan bangunan dari besi. Sementara bagi manusia, hujan asam menimbulkan penyakit gatal-gatal, gangguan pernapasan, dan lainnya.

Rangkuman

1. Menurut Arrhenius, asam adalah senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion H^+ . Basa adalah senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan melepaskan ion OH^- .
2. pH menyatakan derajat atau tingkat keasaman larutan tersebut. Untuk asam $\text{pH} < 7$, basa $\text{pH} > 7$, dan netral $\text{pH} = 7$.
3. Indikator asam-basa adalah suatu zat yang memberikan warna yang berbeda pada larutan asam dan larutan basa. Misalnya: lakmus, fenolftalein, dan bromtimol biru.
4. Kekuatan asam-basa tergantung pada terionisasi seluruhnya atau sebagian dalam air. Asam-basa yang mempunyai derajat ionisasi besar (mendekati 1) merupakan elektrolit kuat, sedangkan yang derajat ionisasinya kecil (mendekati 0) disebut elektrolit lemah.
5. Perhitungan pH asam-basa kuat berbeda dengan asam-basa lemah. Asam dan basa kuat hanya melibatkan ion H^+ dan OH^- , sedangkan asam dan basa lemah melibatkan K_a dan K_b .
6. Pengukuran pH bisa menggunakan indikator universal, pH meter, atau indikator alami.

7. Larutan asam dan basa yang direaksikan akan menghasilkan garam dan air.
8. Pencemaran air ditentukan dari analisis kandungan zat padat, BOD, COD, dan pH.
9. Menurut Brønsted-Lowry, asam adalah senyawa yang dapat memberikan proton (H^+) kepada basa, sedangkan basa adalah senyawa yang dapat menerima proton (H^+) dari asam.
10. Menurut Lewis, asam adalah partikel yang dapat menerima pasangan elektron, sedangkan basa adalah partikel yang memberi pasangan elektron.

Uji Kompetensi

Kerjakan pada buku tugas kalian!

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Asam asetat dalam larutan terdapat dalam bentuk molekul atau ion sebagai berikut, **kecuali**

A. CH_3COOH	D. CH_3COO^+
B. H^+	E. H_2O
C. CH_3COO^-	
2. Lakmus merah akan berubah warnanya menjadi biru jika dimasukkan ke dalam larutan

A. air jeruk	D. air sabun
B. asam cuka	E. asam klorida
C. akuades	
3. Konsentrasi hidrogen fluorida dalam larutan HF yang terdisosiasi 20% adalah

A. 0,002 M	D. 0,012 M
B. 0,008 M	E. 0,200 M
C. 0,010 M	
4. Pada suhu tertentu harga tetapan kesetimbangan air (K_w) = 9×10^{-14} . Pada suhu tersebut konsentrasi OH^- dalam air adalah

A. $1 \times 10^{-1} M$	D. $9 \times 10^{-7} M$
B. $1 \times 10^{-5} M$	E. $1 \times 10^{-14} M$
C. $3 \times 10^{-7} M$	

5. Di antara kelompok asam berikut yang tergolong asam kuat adalah
 - A. asam klorida, asam sulfat, asam asetat
 - B. asam sulfat, asam nitrat, asam perklorat
 - C. asam karbonat, asam asetat, asam fosfat
 - D. asam sulfida, asam fluorida, asam sianida
 - E. asam asetat, asam klorida, asam sianida
6. Larutan HCl dalam air dengan pH = 2 akan berubah menjadi pH = 3 bila diencerkan sebanyak
 - A. 10 kali
 - B. 5 kali
 - C. 3 kali
 - D. 2,5 kali
 - E. 1,5 kali
7. Jika 0,37 gram Ca(OH)_2 ($M_r = 74$) dilarutkan dalam air sampai 250 mL, pH larutan yang terbentuk adalah +
 - A. $2 - \log 2$
 - B. $2 - \log 4$
 - C. $4 - \log 2$
 - D. $12 - \log 4$
 - E. $12 + \log 4$
8. Larutan asam asetat ($K_a = 2 \times 10^{-5}$) mempunyai pH yang sama dengan larutan HCl 2×10^{-5} M. Konsentrasi larutan asam asetat itu adalah
 - A. 0,1 M
 - B. 0,15 M
 - C. 0,2 M
 - D. 0,25 M
 - E. 4 M
9. pH dari 50 mL larutan HCl 0,1 M tidak akan mengalami perubahan jika ditambahkan 50 mL larutan
 - A. H_2SO_4 0,1 M
 - B. HCl 0,1 M
 - C. NaOH 0,1 M
 - D. KOH 0,1 M
 - E. air suling
10. Di antara spesi berikut yang tidak mungkin berlaku sebagai asam Bronsted-Lowry adalah
 - A. NH_4^+
 - B. H_2O
 - C. HCO_3^-
 - D. CO_3^{2-}
 - E. H_2CO_3

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Tentukan pH dari:
 - a. Larutan H_2SO_4 0,005 M!
 - b. Larutan asam cuka 0,2 M, jika derajat ionisasi 0,01!
2. Suatu asam lemah HA terionisasi sebanyak 10%. Tentukan pH 10 mL larutan HA 0,1 M!
3. Air aki yang mengandung 100 mL larutan H_2SO_4 0,1 M dicampurkan dengan 100 mL larutan NaOH 0,1 M. Tentukan pH campuran tersebut!
4. Suatu larutan basa lemah MOH 0,1 M mempunyai pH yang sama dengan larutan NaOH 0,01 M. Tentukan tetapan ionisasi basa MOH!
5. Berapa mL larutan 0,1 M NaOH harus dicampurkan dengan 100 mL HCl 0,1 M untuk membuat larutan dengan pH = 3?

Bab VII

Stoikiometri Larutan Asam-Basa

Sumber gambar: CD Image

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menghitung banyaknya reaktan dan produk hasil titrasi asam basa, menjelaskan kurva titrasi asam basa, menghitung pH larutan penyangga, dan pH garam terhidrolisis.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Asam
2. Basa
3. Asam lemah
4. Basa lemah
5. Buffer
6. Garam terhidrolisis
7. Titrasi
8. Kurva titrasi



Sumber: CD Image

Gambar 7.1 Pengukuran kadar zat dalam larutan asam basa

Tahukah kalian apakah asam cuka itu? Asam cuka banyak digunakan untuk menambah cita rasa asam pada makanan. Berapa persen kadar asam cuka tersebut? Bagaimana cara mengukurnya? Kadar asam cuka dapat diukur dengan titrasi asam basa (Gambar 7.1).

pH darah manusia normal sebesar 7,35 – 7,45. Manusia sering mengonsumsi makanan yang mengandung asam dan basa, meskipun demikian harga pH manusia selalu tetap. Mengapa demikian? pH darah manusia tetap karena merupakan larutan penyangga. Apakah titrasi asam basa dan larutan penyangga tersebut?

A. Titrasi Asam-Basa

Titrasi merupakan suatu metode analisis kuantitatif untuk menentukan kadar suatu larutan. Zat yang akan ditentukan dititrasi oleh larutan yang konsentrasinya diketahui (larutan baku atau larutan standar) dengan tepat dengan disertai penambahan indikator. Indikator adalah zat yang menunjukkan tanda perubahan pada titik akhir titrasi. Titik akhir titrasi adalah suatu kondisi di mana warna indikator berubah.

1. Pengertian Titrasi Asam-Basa

Titrasi asam-basa merupakan metode penentuan konsentrasi kadar larutan asam dengan zat penitrasi larutan basa atau penentuan kadar larutan basa dengan zat penitrasi larutan asam.

Titik akhir titrasi diharapkan mendekati *titik ekuivalen titrasi*, yaitu kondisi pada saat larutan asam tepat bereaksi dengan larutan basa.

Pendekatan antara titik akhir titrasi dengan titik ekuivalen tergantung pada pH yang ditandai perubahan warna dari larutan indikator. Jika perubahan warna indikator terletak pada pH titik ekuivalen, titik akhir titrasi akan sama dengan titik ekuivalen. Akan tetapi, jika perubahan warna indikator terletak pada pH di mana zat penitrasi sedikit berlebih, maka titik akhir titrasi berbeda dengan titik ekuivalen. Serangkaian alat untuk melakukan titrasi seperti pada Gambar 7.2.



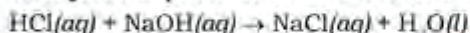
Gambar 7.2 Alat untuk melakukan titrasi

2. Kurva Titrasi

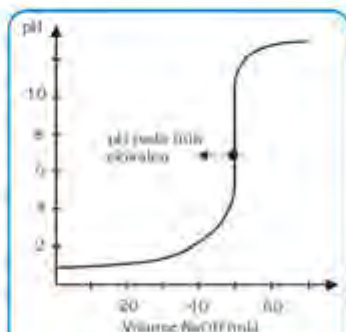
Kurva titrasi adalah grafik yang menyatakan perubahan pH pada penetesan asam dengan basa (atau sebaliknya). Kurva titrasi memudahkan dalam menentukan titik ekuivalen. Jenis asam dan basa yang digunakan menentukan karakteristik kurva titrasi. Berikut ini akan dibahas empat jenis kurva titrasi.

a. Titrasi Asam Kuat dengan Basa Kuat

Perubahan pH yang terjadi pada reaksi penetralan asam kuat oleh basa kuat, contohnya 50 mL asam kuat (HCl 0,1 M) dititrasi oleh basa kuat (NaOH 0,1 M) dengan menggunakan indikator fenolftalein ditunjukkan pada Kurva 7.1 berikut. Reaksi yang terjadi adalah:



Pada awalnya dalam labu erlenmeyer hanya terdapat 50 mL larutan HCl 0,1 M dan beberapa tetes indikator fenolftalein. Pada suasana asam indikator fenolftalein (trayek pH $\approx 8,0 - 9,6$) tidak berwarna. Konsentrasi HCl adalah 0,1 M, berarti pH larutan = 1. Titik ekuivalen akan tercapai pada penambahan 50 mL NaOH 0,1 M. Saat tercapai titik ekuivalen terjadi perubahan yang menyolok dengan curamnya kurva titrasi. Pada kondisi tersebut, pH larutan bersifat netral dan seluruh

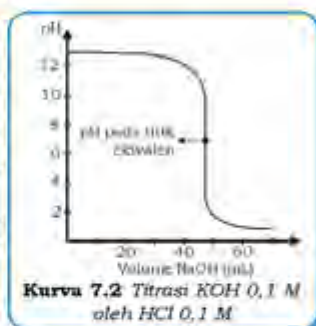


Kurva 7.1 Titrasi HCl 0,1 M oleh NaOH 0,1 M

HCl telah habis bereaksi. Pada keadaan ini, indikator fenolftalein tidak berwarna. Kemudian, penambahan sedikit NaOH akan menyebabkan pH meningkat sehingga indikator fenolftalein berwarna merah muda dan titik akhir titrasi tercapai. Terlihat bahwa ada perbedaan titik ekuivalen dengan titik akhir titrasi. Dalam titrasi asam kuat dan basa kuat di atas, garam yang terjadi adalah garam NaCl yang memiliki pH 7 karena baik ion Na^+ maupun ion Cl^- tidak bereaksi dengan air (H_2O).

b. Titrasi Basa Kuat oleh Asam Kuat

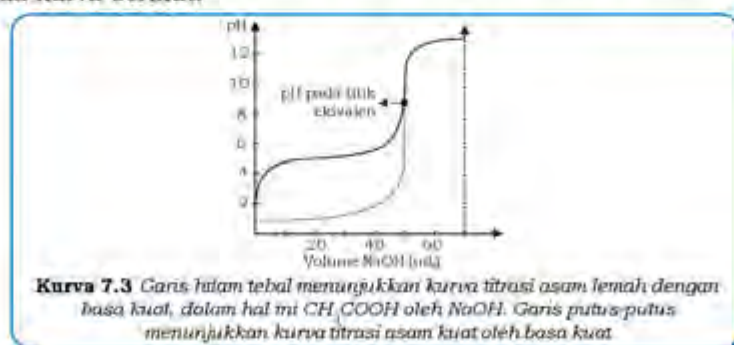
Untuk menentukan titik akhir titrasi pada reaksi penetralan basa kuat oleh asam kuat digunakan indikator metil merah, misalnya pada titrasi KOH 0,1 M oleh HCl 0,1 M. Perubahan pH yang terjadi ditunjukkan pada Kurva 7.2.



Pada awalnya, dalam erlenmeyer hanya berisi 50 mL larutan KOH 0,1 M dan beberapa tetes indikator metil merah. Konsentrasi KOH adalah 0,1 M, berarti pH larutan = 13. Pada suasana basa, indikator metil merah (trayek pH = 4,2 – 6,3) berwarna kuning. Titik ekuivalen tercapai pada penambahan 50 mL HCl 0,1 M (pH = 7). Pada keadaan ini, indikator metil merah masih berwarna kuning, dan pada penambahan sedikit HCl menyebabkan menurunnya pH sehingga indikator metil merah berubah warna menjadi merah.

c. Titrasi Asam Lemah oleh Basa Kuat

Perubahan pH yang terjadi pada reaksi penetralan 50 mL CH_3COOH 0,1 M yang dititrasi oleh NaOH 0,1 M dapat ditunjukkan pada kurva berikut.



Reaksi yang terjadi adalah:

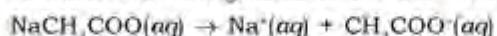


Titik ekuivalen tercapai pada saat penambahan volume basa sebanyak 50 mL, karena konsentrasi asam dan basa yang dipakai masing-masing 0,1 M. Coba kalian bandingkan dengan kurva titrasi asam kuat dan basa kuat! Adakah perbedaannya?

Terlihat ada perbedaan antara dua kurva tersebut. Kurva pada titrasi asam kuat dan basa kuat sangat curam karena terjadi perubahan pH yang sangat besar. Sebaliknya, dalam titrasi asam lemah dengan basa kuat di atas perubahan pH tidak begitu drastis. Pada sedikit penambahan volume basa kuat, mula-mula terjadi kenaikan yang sedikit tajam. Namun setelah itu, kurva yang terjadi tidak begitu tajam sampai terjadinya titik ekuivalen. Hal ini karena pada penambahan sedikit NaOH sampai sebelum terjadinya titik ekuivalen, terdapat dua campuran yaitu sisa asam asetat CH_3COOH dan garam CH_3COONa . Dua zat ini bercampur membentuk larutan penyangga (*buffer*) yang dapat menahan pH.

Larutan penyangga merupakan larutan yang dapat menahan pH pada sedikit penambahan sedikit asam atau basa, dan juga pengenceran. Jadi, selama masih ada larutan penyangga pH larutan akan tertahan di bawah 5. Titik ekuivalen tercapai pada pH sekitar 9. Untuk menunjukkan titik ekuivalen dapat digunakan indikator fenoltalein. Pada titik ini hanya terdapat garam CH_3COONa dan air. pH garam yang dicapai sekitar 9 atau bersifat basa, karena garam yang terjadi merupakan garam yang terhidrolisis.

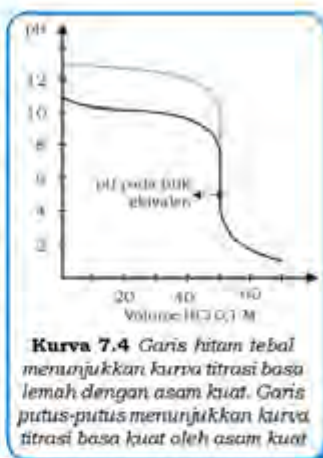
Garam natrium asetat, CH_3COOH merupakan garam yang berasal dari asam lemah dengan basa kuat. Sesuai dengan teori bahwa garam yang berasal dari asam atau basa lemah merupakan garam yang terhidrolisis. Garam ini terhidrolisis karena ion asetat (CH_3COO^-) akan bereaksi dengan air membentuk asam asetat yang bersifat asam lemah. Sebaliknya, ion Na^+ tidak bereaksi dengan air. Hidrolisis ini menghasilkan ion OH^- sehingga pH di atas 7.



d. Titrasi Basa Lemah oleh Asam Kuat

Perubahan pH pada penetralan basa lemah oleh asam kuat, dalam hal ini 50 mL NH_4OH 0,1 M dititrasi dengan HCl 0,1 M dapat ditunjukkan pada Kurva 7.4. Indikator yang digunakan dalam titrasi ini adalah metil merah (trayek pH = 4,2 – 6,3). Reaksi yang terjadi adalah: $\text{NH}_4\text{OH(aq)} + \text{HCl(aq)} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{Cl(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)}$

Terlihat bahwa perubahan pH yang terjadi mula-mula berjalan sangat lambat. Hal ini karena pada penambahan sedikit asam kuat, HCl mengakibatkan adanya larutan penyangga NH_4OH dan NH_4Cl . Titik ekuivalen tercapai pada penambahan volume asam sebanyak 50 mL. Pada titik ekuivalen ini terjadi garam NH_4Cl yang terhidrolisis. pH saat titik ekuivalen berada di bawah 7 (asam), sekitar 4 – 7. Hal ini sesuai dengan sifat garam yang terjadi (NH_4Cl), yaitu garam berasal dari basa lemah dengan asam kuat dan garam inipun merupakan garam yang terhidrolisis.



Kurva 7.4 Garis hitam tebal menunjukkan kurva titrasi basa lemah dengan asam kuat. Garis putus-putus menunjukkan kurva titrasi basa kuat oleh asam kuat



3. Prosedur Titrasi Asam-Basa dan Perhitungannya

Titrasi asam-basa dilakukan dengan menggunakan buret. Berikut langkah-langkah melakukan titrasi asam-basa.

- Siapkan larutan yang akan ditentukan konsentrasinya. Pipet larutan tersebut ke dalam erlenmeyer dengan menggunakan pipet volume.
- Pilih indikator berdasarkan trayek pH dan perubahan warna indikator untuk memudahkan pengamatan. Tambahkan beberapa tetes pada larutan. Dalam proses titrasi asam kuat atau asam lemah oleh basa kuat dianjurkan menggunakan indikator fenolftalein, pengamatan akan lebih mudah, karena trayek pH yang sesuai dan perubahan warna dari bening menjadi merah muda. Pada proses titrasi basa kuat atau basa lemah dititrasi oleh asam kuat dianjurkan menggunakan indikator metil merah, karena trayek pH yang sesuai juga pengamatan perubahan warna yang jelas, yaitu dari kuning menjadi merah.
- Dalam menambahkan zat penitrasi harus tetes demi tetes dengan selalu menggoyangkan erlenmeyer agar terjadi reaksi yang sempurna.
- Sesekali, pinggiran erlenmeyer dibilas agar zat yang bereaksi tidak menempel di dinding erlenmeyer.

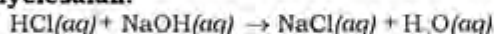
- e. Sebaiknya penambahan zat peniter dilakukan dengan sangat hati-hati ketika mendekati titik ekuivalen. Buka kran buret, peniter yang keluar jangan sampai menetes, tetapi ditempelkan pada dinding erlenmeyer kemudian bilas dan goyangkan. Ada baiknya titrasi dilakukan sebanyak dua atau tiga kali (*duplo* atau *triplo*).

Setelah mengetahui langkah-langkah titrasi, bagaimana cara menentukan konsentrasi suatu larutan? Konsentrasi larutan dapat ditentukan secara stoikiometri. Untuk lebih jelasnya perhatikan contoh soal berikut!

Contoh soal 7.1:

Sebanyak 20 mL larutan HCl dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 M dengan menggunakan indikator fenolftalein. Jika perubahan warna indikator menjadi merah muda diperlukan 25 mL larutan penitrasi, tentukan molaritas HCl!

Penyelesaian:



$$\begin{aligned}\text{Jumlah mmol NaOH} &= \text{volume NaOH} \times \text{kemolaran NaOH} \\ &= 25 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M} \\ &= 2,5 \text{ mmol}\end{aligned}$$

Berdasarkan reaksi di atas diketahui koefisien HCl sama dengan koefisien NaOH, sehingga:

$$\begin{aligned}\text{Jumlah mmol HCl} &= \text{Jumlah mmol NaOH} \\ &= 2,5 \text{ mmol}\end{aligned}$$

$$\text{Jadi, konsentrasi HCl} = \frac{n}{V} = \frac{2,5 \text{ mmol}}{20 \text{ mL}} = 0,125 \text{ M}$$

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, **etos kerja**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 7.1

Titration Asam Basa

Tujuan:

Menentukan kemolaran HCl dengan menggunakan cara titrasi oleh larutan NaOH 0,1 M.

Alat:

1. Erlenmeyer
2. Buret
3. Statif
4. Pipet volume

Bahan:

1. HCl
2. NaOH 0,1 M
3. Indikator fenolftalein

Cara Kerja:

1. Masukkan 25 mL HCl dan 3 tetes indikator fenolftalein ke dalam erlenmeyer.
2. Isi buret dengan larutan NaOH 0,1 M hingga garis 0 mL.
3. Tetesi larutan HCl dengan larutan NaOH. Penetesan dilakukan dengan hati-hati dan erlenmeyer harus terus digoyang-goyangkan. Hentikan penetesan saat warna larutan berubah menjadi merah muda.
4. Ulangi prosedur di atas hingga diperoleh 3 data yang hampir sama.
5. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.

Hasil Pengamatan:

Titrasi	Volume NaOH 0,1 M
1.
2.
3.

Pertanyaan dan Tugas:

1. Tentukan kemolaran HCl!
2. Buat laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian.

4. Aplikasi Titrasi Asam-Basa

Titrasi asam-basa dapat digunakan menentukan kadar suatu asam. Asam yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah asam cuka. Asam ini banyak digunakan sebagai bahan pengawet atau pemberi rasa asam pada makanan, seperti saos tomat, acar, bakso dan lainnya. Pada bagian ini akan membahas apakah kadar cuka yang dijual di pasaran sesuai dengan labelnya atau tidak.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, **etos kerja**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 7.2

Penentuan Kadar Asam Asetat dalam Cuka Dapur

Tujuan:

Menentukan kadar asam asetat dalam cuka dapur dengan titrasi asam-basa.

Alat:

1. Buret
2. Erlenmeyer
3. Pipet volume
4. Botol semprot
5. Pipet tetes

Bahan:

1. Berbagai merk cuka
2. Larutan NaOH 0,1 M
3. Indikator fenolftalein
4. Akuades

Cara Kerja:

1. Ambil 10 mL larutan asam cuka dengan menggunakan pipet volume, dan masukkan dalam erlenmeyer.
2. Tambahkan 2-3 tetes indikator fenolftalein.
3. Masukkan larutan NaOH 0,1 M ke dalam buret.
4. Catat skala awal larutan NaOH 0,1 M (sebaiknya dimulai dari skala 0).
5. Teteskan NaOH 0,1 M ke dalam erlenmeyer sedikit demi sedikit, sambil digoyang-goyangkan, sampai terjadi perubahan warna indikator.
6. Catat volume NaOH 0,1 M yang digunakan.
7. Ulangi kegiatan ini sampai didapatkan hasil yang hampir sama.

Hasil Pengamatan:

Merk	Volume cuka (mL)	Volume NaOH 0,1 M (mL)
1.	10	.....
2.	10	.....
3.	10	.....

Pertanyaan dan Tugas:

1. Hitunglah kadar asam asetat dalam cuka!
2. Bandingkan kadar asam asetat hasil titrasi dengan kadar asam asetat yang tercantum dalam label!
3. Buat laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian.

Serba-serbi Kimia



Ilmu kimia berperan penting dalam kehidupan sehari-hari. Pernahkah kalian melihat orang memadamkan api dengan menggunakan tabung pemadam? Bagaimana cara kerja tabung pemadam kebakaran tersebut? Di dalam tabung pemadam kebakaran terdapat sebuah botol berisi asam sulfat. Selain itu juga terdapat silinder yang mengandung sodium bikarbonat. Kedua senyawa ini dipisahkan oleh sebuah penyumbat. Dua bahan kimia yang berupa asam dan basa tersebut tetap akan terpisah sampai pemadaman dibutuhkan. Jika kedua bahan reaksi sudah bercampur, akan terbentuk gas CO_2 yang keluar dari silinder dengan cepat.

B. Pengertian Larutan Penyangga

Larutan penyangga atau sering disebut dengan larutan *buffer* merupakan larutan yang pH-nya praktis tidak berubah walaupun ditambahkan sedikit asam, sedikit basa atau bila larutan diencerkan.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, **etos kerja**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 7.3

Larutan Penyangga

Tujuan:

Mempelajari sifat larutan penyangga dan bukan penyangga pada penambahan sedikit asam, basa, atau pengenceran.

Alat:

1. Gelas kimia
2. Gelas ukur
3. Pipet tetes

Bahan:

1. Larutan HCl 0,1 M
2. Larutan CH_3COOH 0,1 M
3. Larutan NaOH 0,1 M

4. Larutan NH_4OH 0,1 M
5. Larutan NaCl 0,1 M
6. Larutan CH_3COONa 0,1 M
7. Larutan NH_4Cl 0,1 M
8. Indikator universal

Cara Kerja:

1. Ukur pH larutan NaCl 0,1 M dengan menggunakan indikator universal.
2. Siapkan 3 gelas kimia, isi masing-masing dengan 10 mL larutan NaCl 0,1 M, kemudian tambahkan 1 mL HCl 0,1 M ke dalam gelas 1, 1 mL NaOH 0,1 M ke dalam gelas 2, dan ke dalam gelas 3 tambahkan 10 mL akuades. Ukur pH larutan tersebut.
3. Campurkan 25 mL NH_4OH 0,1 M dan 25 mL CH_3COONa 0,1 M ke dalam sebuah gelas kimia. Ukur pH larutan.

Hasil Pengamatan:

Larutan yang Diuji	pH Mula-mula	pH Setelah Ditambah HCl	pH Setelah Ditambah NaOH	pH Setelah Diencerkan
NaCl
CH_3COOH
CH_3COONa
NH_4OH
NH_4Cl

Pertanyaan dan Tugas:

1. Tentukan larutan yang termasuk larutan penyangga!
2. Buat laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas!

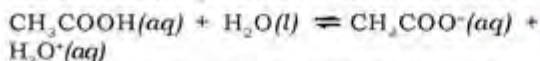
1. Komponen Larutan Penyangga

Larutan penyangga dibedakan menjadi larutan penyangga asam dan basa.

a. Larutan Penyangga Asam

Larutan penyangga asam mengandung suatu asam lemah (HA) dan basa konjugasinya (A^-). Larutan penyangga asam mempertahankan pH pada daerah asam ($\text{pH} < 7$).

Perhatikan persamaan reaksi berikut ini!



Ingat kembali pengertian asam-basa menurut Børnsted-Lowry, dalam reaksi di atas:

CH_3COOH : asam lemah

CH_3COO^- : basa konjugasi

Campuran asam lemah CH_3COOH dan basa konjugasinya (CH_3COO^-) membentuk suatu larutan penyangga. Dalam membentuk larutan penyangga, ion CH_3COO^- dapat berasal dari garam CH_3COONa , CH_3COOK , atau $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ba}$. Larutan penyangga (buffer) yang di jual di pasaran ditunjukkan Gambar 7.3.



Sumber:

www.shopadulitas.com

Gambar 7.3 Buffer asam yang dijual di pasaran

Contoh-contoh komponen pembentuk larutan penyangga asam dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel Komponen Pembentuk Buffer Asam

Komponen Pembentuk Buffer		Garam Pembentuk Basa Konjugasi
Asam Lemah	Basa Konjugasi	
HCOOH	HCOO^-	PO_4^{3-}
HF	F^-	HCOONa , HCOOK , $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$
H_3PO_4	H_2PO_4^-	NaF
NaH_2PO_4	HPO_4^{2-}	NaH_2PO_4
Na_2HPO_4		Na_2HPO_4
		Na_3PO_4

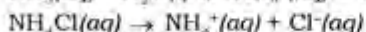
Bagaimana jika asamnya merupakan asam kuat? Apakah dapat membentuk larutan penyangga? Asam kuat dan basa konjugasinya (garamnya) tidak dapat membentuk larutan penyangga, sehingga campuran $\text{HCl}(aq)$ dan $\text{NaCl}(aq)$, campuran $\text{HNO}_3(aq)$ dan $\text{NaNO}_3(aq)$, serta campuran $\text{H}_2\text{SO}_4(aq)$ dan $\text{NaHSO}_4(aq)$ bukan merupakan larutan penyangga.

Fokus

Larutan penyangga asam dapat dibentuk dari asam lemah dan basa konjugasinya.

b. Larutan Penyangga Basa

Larutan penyangga basa mengandung suatu basa lemah (B) dan asam konjugasinya (BH^+). Larutan penyangga basa mempertahankan pH pada daerah basa ($pH > 7$). Perhatikan persamaan reaksi berikut ini!



Menurut teori asam-basa Bronsted-Lowry:

NH_3 atau NH_4OH : basa lemah

NH_4^+ : asam konjugasi dari NH_4OH

Catatan: NH_3 dalam air dapat ditulis dengan notasi $NH_3(aq)$ atau $NH_4OH(aq)$.

Campuran basa lemah NH_4OH dan asam konjugasinya (NH_4^+) membentuk larutan penyangga. Dalam pembentukan larutan penyangga, ion NH_4^+ dapat berasal dari garam seperti NH_4Cl , NH_4Br , atau $(NH_4)_2SO_4$.

Fokus

Larutan penyangga basa dapat dibentuk dari campuran basa lemah dengan asam konjugasinya atau campuran basa lemah dengan garamnya.

Bagaimana jika basa yang dicampurkan merupakan basa kuat? Apakah campuran yang dihasilkan merupakan larutan penyangga? Campuran basa kuat dan basa konjugasinya (garamnya) tidak membentuk larutan penyangga, sehingga campuran $NaOH(aq)$ dan $Na_2SO_4(aq)$, campuran $KOH(aq)$ dan $KCl(aq)$, serta campuran $NaOH(aq)$ dan $NH_4Cl(aq)$ bukan merupakan larutan penyangga.

C. Menghitung pH Larutan Penyangga

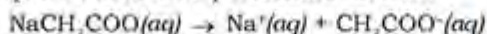
pH dari larutan penyangga (buffer) tergantung pada harga tetapan ionisasi asam lemah, K_a , atau tetapan ionisasi basa lemah, K_b , serta perbandingan konsentrasi asam dengan konsentrasi basa konjugasi atau konsentrasi basa dengan konsentrasi asam konjugasi dalam larutan tersebut.

1. Larutan Penyangga Asam

Perhatikan larutan penyangga yang mengandung CH_3COOH dengan $NaCH_3COO$. Asam asetat akan mengion sebagian menurut persamaan kesetimbangan:



Sedangkan natrium asetat akan mengion sempurna menurut persamaan reaksi:



Larutan penyangga yang mengandung asam sitrat dan natrium sitrat (CH_3COONa) digunakan sebagai pengawet dalam minuman sari jeruk (Gambar 7.4).

Pada larutan penyangga asam konsentrasi ion H^+ dalam larutan dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$[\text{H}^+] = K_a \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

Secara umum dapat dituliskan:

$$[\text{H}^+] = K_a \times \frac{a}{g}$$

atau

$$\text{pH} = \text{p}K_a - \log \frac{a}{g}$$



Sumber: *Sains dan Kehidupan*
Gambar 7.4 Minuman sari jeruk dalam kemasan diberi campuran asam sitrat dan natrium sitrat untuk mengontrol pH agar tidak mudah rusak oleh bakteri

Keterangan:

K_a = tetapan ionisasi asam lemah

a = jumlah mol asam lemah

g = jumlah mol basa konjugasi (garam)

Reaksi antara asam lemah dan basa kuat dapat menghasilkan garam yang anionnya berasal dari asam lemah pembentuknya. Untuk menghasilkan larutan penyangga, jumlah mol asam lemah harus bersisa sehingga setelah reaksi terjadi akan diperoleh campuran asam lemah (sisa) dan garamnya.

Contoh soal 7.2:

Suatu larutan penyangga dibuat dengan mencampurkan 50 mL larutan CH_3COOH 0,1 M dengan 25 mL larutan NaCH_3COO 0,2 M. Tentukan pH larutan penyangga! ($K_a \text{ CH}_3\text{COOH} = 1,8 \times 10^{-5}$).

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah mol CH}_3\text{COOH} &= 50 \text{ mL} \times 0,1 \text{ mmol mL}^{-1} \\ &= 5 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah mol NaCH}_3\text{COO} &= 25 \text{ mL} \times 0,2 \text{ mmol mL}^{-1} \\ &= 5 \text{ mmol}\end{aligned}$$

Jumlah mol asam = jumlah mol basa konjugasi, maka:

$$\begin{aligned}\text{pH} &= \text{p}K_a \\ &= -\log 1,8 \times 10^{-5} \\ &= 4,75\end{aligned}$$

Jadi, pH larutan penyangga tersebut adalah 4,75

Contoh soal 7.3:

Ke dalam 2 L larutan CH_3COOH 0,1 M ditambahkan padatan NaOH sehingga pH larutan menjadi 6. Jika $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 1,8 \times 10^{-5}$ dan $M_{\text{NaOH}} = 40$, tentukan jumlah NaOH yang ditambahkan!

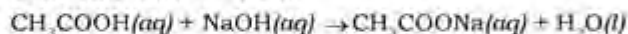
Penyelesaian:

pH larutan berarti pH larutan penyangga dan NaOH yang ditambahkan seluruhnya habis bereaksi.

pH = 6, maka $[\text{H}^+] = 10^{-6}$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah mol CH}_3\text{COOH} &= V \times M \\ &= 2 \text{ L} \times 0,1 \text{ M} \\ &= 0,2 \text{ mol}\end{aligned}$$

dimisalkan, jumlah mol NaOH = x mol



Mula- mula	: 0,2 mol	x mol	–	–
Reaksi	: x mol	x mol	x mol	x mol
Akhir	: $(0,2 - x)$ mol	–	x mol	x mol

$$[\text{H}^+] = K_a \times \frac{a}{g}$$

$$10^{-6} = 1,8 \times 10^{-5} \times \frac{0,2 - x}{x}$$

$$x = 18(0,2 - x)$$

$$x = 3,6 - 18x$$

$$19x = 3,6$$

$$x = \frac{3,6}{19}$$

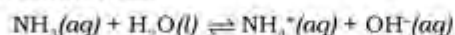
$$= 0,1895 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah mol NaOH} &= 0,1895 \text{ mol} \\
 \text{Massa NaOH} &= \text{jumlah mol NaOH} \times M_r \text{ NaOH} \\
 &= 0,1895 \text{ mol} \times 40 \text{ g mol}^{-1} \\
 &= 7,58 \text{ g}
 \end{aligned}$$

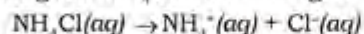
Jadi, NaOH yang harus ditambahkan sebanyak 7,58 g.

2. Larutan Penyangga Basa

Perhatikan larutan penyangga yang mengandung NH_4OH dan NH_4Cl . Dalam larutan, NH_4OH akan mengion menurut reaksi kesetimbangan:



Sedangkan NH_4Cl akan mengion sempurna menurut reaksi:



Pada larutan penyangga basa konsentrasi ion OH^- dapat ditentukan dengan rumus:

$$[\text{OH}^-] = K_b \times \frac{b}{g}$$

$$\text{atau } \text{pOH} = \text{p}K_b - \log \frac{b}{g}$$

Keterangan:

K_b = tetapan ionisasi basa lemah

b = jumlah mol basa lemah

g = jumlah mol asam konjugasi (garam)

Contoh soal 7.4:

Sebanyak 6,8 g gas NH_3 dilarutkan dalam 1 l air. Kemudian, ke dalam larutan tersebut ditambahkan garam NH_4Cl sebanyak 10,7 g. Jika $K_b \text{ NH}_3 = 1,8 \times 10^{-5}$, $M_r \text{ NH}_3 = 17$ dan $\text{NH}_4\text{Cl} = 53,5$, tentukan pH campuran tersebut!

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah mol NH}_3 &= b = \frac{\text{massa NH}_3}{M_r \text{ NH}_3} \\
 &= \frac{6,8 \text{ gram}}{17 \text{ gram mol}^{-1}} \\
 &= 0,4 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah mol NH}_4\text{Cl} \rightarrow g &= \frac{\text{massa NH}_4\text{Cl}}{M_r \text{ NH}_4\text{Cl}} \\
 &= \frac{10,7 \text{ gram}}{53,5 \text{ gram mol}^{-1}} \\
 &= 0,2 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{OH}^-] &= K_b \times \frac{b}{g} \\
 &= 1,8 \times 10^{-5} \times \frac{0,4 \text{ mol}}{0,2 \text{ mol}} \\
 &= 3,6 \times 10^{-5} \text{ M} \\
 \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\
 &= -\log 3,6 \times 10^{-5} \\
 &= 5 - \log 3,6 \\
 \text{pH} &= 14 - (5 - \log 3,6) \\
 &= 9 + \log 3,6 \\
 &= 9,56
 \end{aligned}$$

Jadi, pH campuran tersebut adalah 9,56.

3. Pengaruh Pengenceran dan Penambahan Sedikit Asam atau Sedikit Basa

pH suatu larutan penyangga ditentukan oleh komponen-komponennya. Dalam perhitungan, komponen-komponen itu membentuk perbandingan tertentu. Jika campuran tersebut diencerkan, harga perbandingan komponen-komponennya tidak berubah sehingga pH larutan juga tidak berubah.

Perhatikan Gambar 7.5 berikut. Secara teoritis, berapapun tingkat pengenceran tidak akan merubah pH. Akan tetapi dalam praktiknya, jika dilakukan pengenceran yang berlebihan, misalnya 1 L larutan penyangga diencerkan dengan 100 L, pH larutan penyangga akan berubah.

Jika ke dalam larutan penyangga ditambah sedikit asam maka asam tersebut akan bereaksi dengan zat yang bersifat basa. Begitu juga sebaliknya, jika



Sumber: Dok. Theoritis

Gambar 7.5 Pengenceran tidak akan merubah pH larutan penyangga

ditambahkan sedikit basa, maka basa tersebut akan bereaksi dengan zat yang bersifat asam. Penambahan sedikit asam atau sedikit basa ini akan merubah pH larutan penyangga kecil sekali, sehingga pH dapat dianggap tidak berubah (diabaikan).

Contoh soal 7.5:

Suatu larutan penyangga sebanyak 1 L dibentuk dari NH_4OH 0,1 M dan NH_4Cl 0,1 M. Jika $K_b \text{ NH}_4\text{OH} = 1,8 \times 10^{-5}$.

Tentukan:

- pH larutan penyangga!
- pH larutan penyangga bila ditambah air sebanyak 19 L!

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \text{a. } [\text{OH}^-] &= K_b \times \frac{b}{g} \\
 &= 1,8 \times 10^{-5} \times \frac{0,1}{0,1} \\
 10^{-5} &= 1,8 \times 10^{-5} \text{ M} \\
 \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] = 5 - \log 1,8 \\
 \text{pH} &= \text{p}K_w - \text{pOH} \\
 &= 14 - (5 - \log 1,8) = 9 + \log 1,8 \\
 &= 9,26
 \end{aligned}$$

Jadi, pH larutan penyangga = 9,26.

- Setelah ditambah air sebanyak 19 L, maka volumenya menjadi 20 L.

$$\begin{aligned}
 [\text{NH}_4\text{OH}] &= \frac{V_1 \times M_1}{V_{\text{total}}} = \frac{1 \text{ L} \times 0,1 \text{ M}}{20 \text{ L}} \\
 &= 0,005 \text{ M} \\
 [\text{NH}_4\text{Cl}] &= \frac{V_2 \times M_2}{V_{\text{total}}} = \frac{1 \text{ L} \times 0,1 \text{ M}}{20 \text{ L}} \\
 &= 0,005 \text{ M} \\
 [\text{OH}^-] &= K_b \times \frac{b}{g} = 1,8 \times 10^{-5} \times \frac{0,005}{0,005} \\
 &= 1,8 \times 10^{-5} \text{ M} \\
 \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\
 &= 5 - \log 1,8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= \text{p}K_a - \text{pOH} \\
 &= 14 - (5 - \log 1,8) \\
 &= 9 + \log 1,8 \\
 &= 9,26
 \end{aligned}$$

pH setelah pengenceran adalah 9,26.

Jadi, secara teoritis, perubahan volume atau pengenceran tidak mengubah pH larutan penyangga.

Contoh soal 7.6:

Jika 1 L larutan CH_3COOH 0,1 M dicampurkan dengan 1 L larutan CH_3COONa 0,1 M dan $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 1,8 \times 10^{-5}$.

Tentukan:

- pH larutan penyangga!
- pH larutan penyangga jika ditambahkan 10 mL HCl 0,1 M pada campuran tersebut!
- pH larutan penyangga jika ditambahkan 10 mL NaOH 0,1 M pada campuran tersebut!

Penyelesaian:

- Jumlah mol $\text{CH}_3\text{COOH} = a = V \times M = 1 \text{ L} \times 0,1 \text{ M} = 0,1 \text{ mol}$
 Jumlah mol $\text{CH}_3\text{COONa} = g = V \times M = 1 \text{ L} \times 0,1 \text{ M} = 0,1 \text{ mol}$

$$\begin{aligned}
 [\text{H}^+] &= K_a \times \frac{a}{g} = 1,8 \times 10^{-5} \times \frac{0,1}{0,1} \\
 &= 1,8 \times 10^{-5} \text{ M} \\
 \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] = -\log 1,8 \times 10^{-5} \\
 &= 4,745
 \end{aligned}$$

Jadi, pH larutan penyangga = 4,745

- Pada campuran CH_3COOH dan CH_3COONa ditambahkan HCl , maka CH_3COONa akan bereaksi dengan HCl membentuk CH_3COOH .

Jumlah mmol CH_3COOH semula = 0,1 mol = 100 mmol

Jumlah mmol CH_3COONa semula = 0,1 mol = 100 mmol

Jumlah mmol $\text{HCl} = V \times M = 10 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M} = 1 \text{ mmol}$



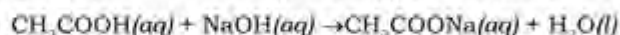
Mula-mula :	100 mmol	1 mmol	100 mmol	–
Reaksi :	1 mmol	1 mmol	1 mmol	1 mmol
Akhir :	99 mmol	–	101 mmol	1 mmol

$$\begin{aligned}
 [\text{H}^+] &= K_a \times \frac{\text{Jumlah mmol CH}_3\text{COOH akhir}}{\text{Jumlah mmol CH}_3\text{COONa akhir}} \\
 &= 1,8 \times 10^{-5} \times \frac{101}{99} \\
 &= 1,8364 \times 10^{-5} \text{ M} \\
 \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] = -\log 1,8364 \times 10^{-5} \\
 &= 5 - \log 1,8364 \\
 &= 4,736
 \end{aligned}$$

Jadi, pH larutan penyangga setelah penambahan asam 4,736.

- c. Pada campuran CH_3COOH dan CH_3COONa ditambahkan NaOH , maka NaOH akan bereaksi dengan CH_3COOH membentuk CH_3COONa .

$$\text{Jumlah mmol NaOH} = V \times M = 10 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M} = 1 \text{ mmol}$$



Mula-mula:	100 mmol	1 mmol	100 mmol	–
Reaksi	: 1 mmol	1 mmol	1 mmol	1 mmol
Akhir	: 99 mmol	–	101 mmol	1 mmol

$$\begin{aligned}
 [\text{H}^+] &= K_a \times \frac{\text{Jumlah mmol CH}_3\text{COOH akhir}}{\text{Jumlah mmol CH}_3\text{COONa akhir}} \\
 &= 1,8 \times 10^{-5} \times \frac{99}{101} \\
 &= 1,7644 \times 10^{-5} \\
 \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] = -\log 1,7644 \times 10^{-5} \\
 &= 5 - \log 1,7644 \\
 &= 4,753
 \end{aligned}$$

Jadi, setelah penambahan basa, pH = 4,753.

Perhatikan bahwa ternyata harga perubahan pH tidak begitu besar (sekitar 0,008), sehingga pH dianggap tidak berubah oleh penambahan sedikit asam atau basa.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas 7.1

1. Sebanyak 50 mL larutan CH_3COOH 0,1 M dicampurkan dengan 50 mL larutan NaCH_3COO 0,2 M. Jika $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 10^{-5}$, tentukan pH larutan!
2. Sebanyak 22,4 L gas NH_3 dialirkan ke dalam 2 L larutan HCl yang memiliki pH = 1. Jika harga $K_b \text{NH}_4\text{OH} = 10^{-5}$, tentukan pH campuran!
3. Suatu larutan penyangga yang dibuat dari larutan HCOOH 0,5 M dan $(\text{HCOO})_2\text{Ba}$ 0,2 M mempunyai pH = 4. Jika diketahui $K_a \text{HCOOH} = 2 \times 10^{-4}$, tentukan perbandingan volume larutan HCOOH dan $(\text{HCOO})_2\text{Ba}$ yang dicampurkan!
4. Berapa gram garam amonium sulfat, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ harus ditambahkan pada 500 mL larutan NH_3 0,1 M untuk memperoleh larutan penyangga dengan pH = 9? (Diketahui $A_r \text{H} = 1$, $\text{N} = 14$, $\text{O} = 16$, $\text{S} = 32$, $K_b \text{NH}_3 = 10^{-5}$)
5. Ke dalam 200 mL larutan CH_3COOH 0,2 M ditambahkan larutan NaCH_3COO 0,2 M sehingga konsentrasi ion $\text{Na}^+ = 0,1$ M. Tentukan pH campuran tersebut jika $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 10^{-5}$!
6. Sebanyak 4,8 L air ditambahkan ke dalam campuran 600 mL larutan CH_3COOH 0,1 M dan 600 mL CH_3COONa 0,15 M. Jika $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 1,8 \times 10^{-5}$, tentukan pH campuran sebelum dan sesudah penambahan air!
7. Sebanyak 300 mL larutan CH_3COOH 0,2 M dicampurkan dengan 300 mL larutan NaCH_3COO 0,3 M. Jika $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 1,8 \times 10^{-5}$, tentukan:
 - a. pH larutan jika ditambah 5 mL larutan HCl 0,1 M pada campuran tersebut,
 - b. pH larutan jika ditambah 5 mL larutan NaOH 0,1 M pada campuran tersebut!

D. Fungsi Larutan Penyangga

Larutan penyangga digunakan secara luas dalam kimia analitik, biokimia, dan bakteriologi juga dalam fotografi, industri kulit, dan zat warna. Di dalam setiap bidang tersebut, diperlukan rentang pH tertentu untuk memperoleh hasil yang optimum.

Untuk obat suntik atau obat tetes mata, pH-nya harus disesuaikan dengan pH cairan tubuh. Obat tetes mata harus memiliki pH yang sama dengan pH air mata agar tidak menimbulkan iritasi yang mengakibatkan rasa perih pada mata. Begitu pula obat suntik harus disesuaikan dengan pH darah.

Dalam tubuh manusia sistem larutan penyangga terdapat dalam sel, cairan antarsel, dan dalam darah.

1. Sistem Larutan Penyangga dalam Sel

Larutan penyangga di dalam sel adalah campuran asam lemah dihidrogen fosfat (H_2PO_4^-) dan basa konjugasinya, yaitu mono-hidrogen fosfat (HPO_4^{2-}).

2. Sistem Larutan Penyangga dalam Cairan Antarsel

Larutan penyangga dalam cairan antarsel adalah campuran asam karbonat (H_2CO_3) dan basa konjugasinya, yaitu ion bikarbonat (HCO_3^-).

3. Sistem Larutan Penyangga dalam Darah

Terdapat dua sistem larutan penyangga dalam plasma darah dan sel darah merah (Gambar 7.6), yaitu campuran asam karbonat (H_2CO_3) dan basa konjugasinya (ion bikarbonat HCO_3^-) serta campuran asam hemoglobin (HHb) dan basa konjugasinya (hemoglobin, Hb).

Sistem larutan penyangga dalam darah berfungsi untuk mengatur agar pH darah normal, yaitu 7,35 – 7,45. Reaksi kesetimbangannya adalah sebagai berikut.



Sumber: www.birzuela.com

Gambar 7.6 Sel darah merah

Perbandingan konsentrasi HCO_3^- terhadap H_2CO_3 yang diperlukan untuk menjadikan pH darah 7,4 adalah 20:1. Jumlah HCO_3^- yang relatif jauh lebih banyak itu dapat dimengerti karena hasil-hasil metabolisme yang diterima darah lebih banyak yang bersifat asam.

Organ yang berperan dalam pengaturan pH larutan penyangga adalah paru-paru dan ginjal. Jika konsentrasi CO_2 bertambah, kesetimbangan bergeser ke kiri, sehingga konsentrasi H^+ bertambah. Pada kondisi ini, kita mengeluarkan napas untuk membuang CO_2 dari paru-paru. Kesetimbangan kembali bergeser ke kanan. Giliran ginjal menyerap H^+ dan HCO_3^- dan membuang kelebihan asam ke dalam urine.

Jika pH darah kurang dari 7,35 disebut *asidosis*. Faktor-faktor yang menyebabkan keadaan *asidosis* (penurunan pH) adalah penyakit jantung, penyakit ginjal, diabetes mellitus, dan diare yang terus menerus. Apabila pH darah lebih besar dari 7,45 disebut *alkalosis*. *Alkalosis* (peningkatan pH darah) bisa disebabkan muntah yang hebat, *hiperventilasi* (bernapas terlalu berlebihan akibat cemas atau histeris atau berada di ketinggian). Kematian dapat terjadi bila pH darah kurang dari 7,0 atau lebih dari 7,8. Dengan adanya sistem larutan penyangga dalam darah, penurunan atau kenaikan pH darah secara drastis dapat dicegah.

E. Konsep Hidrolisis

Hidrolisis garam merupakan suatu peristiwa reaksi antara air dan ion-ion yang berasal dari asam lemah atau basa lemah suatu garam. Hidrolisis berasal dari kata *hydro* yang berarti air dan *lysis* yang berarti peruraian. Menurut konsep ini, komponen garam (kation dan anion) yang berasal dari asam lemah atau basa lemah bereaksi dengan air (terhidrolisis) membentuk ion H_3O^+ (H^+) atau ion OH^- . Jika hidrolisis menghasilkan ion H_3O^+ , maka larutan bersifat asam, tetapi jika menghasilkan ion OH^- , maka larutan bersifat basa.

1. Jenis-jenis Garam yang Mengalami Hidrolisis dalam Air

Garam yang terhidrolisis dalam air akan bersifat asam atau basa. Garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah bersifat asam, karena dihasilkan ion H^+ , sebaliknya garam yang berasal dari basa kuat dan asam lemah bersifat basa, karena dihasilkan ion OH^- .

Hidrolisis antara asam kuat dan basa kuat akan menghasilkan garam yang bersifat netral dan tidak mengalami hidrolisis. Dengan uji kertas lakmus dapat diketahui sifat garam yang dihasilkan. Garam bersifat asam, jika memerahkan kertas lakmus atau bersifat basa, jika membirukan kertas lakmus. Apabila terjadi perubahan pada warna kertas lakmus, berarti garam tersebut mengalami hidrolisis. Garam yang bersifat netral (tidak mengubah warna kertas lakmus), maka garam tersebut tidak terhidrolisis.

Fokus

Reaksi antara air dan ion-ion yang berasal dari asam lemah atau basa lemah disebut reaksi hidrolisis. Garam yang terhidrolisis dapat bersifat asam atau basa. Hal itu tergantung sifat-sifat zat penyusunnya.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **kreativitas**, **etos kerja**, dan mengembangkan **kecakapan sosial** kalian!

Kegiatan 7.4

Hidrolisis Larutan Garam

Tujuan:

Menentukan ciri-ciri beberapa jenis garam yang terhidrolisis dalam air.

Alat:

1. Tabung reaksi
2. Pipet tetes

Bahan:

- | | |
|---|---|
| 1. Larutan NaCl 0,1 M | 5. Larutan NH_4Cl 0,1 M |
| 2. Larutan K_2SO_4 0,1 M | 6. Larutan Na_2CO_3 0,1 M |
| 3. Larutan CH_3COONa 0,1 M | 7. Kertas lakmus merah |
| 4. Larutan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,1 M | 8. Kertas lakmus biru |

Cara Kerja:

1. Masukkan larutan ke dalam tabung reaksi masing-masing 5 mL.
2. Celupkan kertas lakmus merah ke dalam setiap larutan. Amati perubahan warna kertas lakmus merah.
3. Celupkan kertas lakmus biru ke dalam setiap larutan. Amati perubahan warna kertas lakmus biru.
4. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.

Hasil Pengamatan:

Larutan	Perubahan Warna		Hasil
	Lakmus Merah	Lakmus Biru	
NaCl 0,1 M
K ₂ SO ₄ 0,1 M
CH ₃ COONa 0,1 M
(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,1 M
NH ₄ Cl 0,1 M
Na ₂ CO ₃ 0,1 M

Pertanyaan dan Tugas:

1. Sebutkan larutan yang mengandung asam lemah! Jelaskan alasan kalian!
2. Sebutkan larutan yang mengandung basa lemah! Jelaskan alasan kalian!
3. Sebutkan larutan yang terhidrolisis!
4. Buat laporan hasil percobaan dan persentasikan di depan kelas. Diskusikan dengan teman kalian!

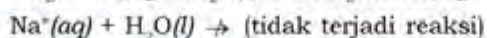
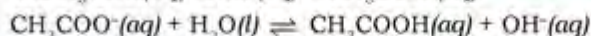
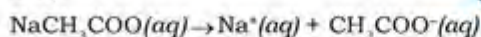
2. Reaksi Hidrolisis

Garam yang mengalami reaksi hidrolisis ada 3 macam, yaitu:

a. Garam yang Berasal dari Asam Lemah dan Basa Kuat

Garam yang terbentuk dari asam lemah dan basa kuat akan mengalami hidrolisis parsial dalam air. Salah satu contoh garam ini adalah CaCO₃ yang terdapat pada cangkang Mollusca (Gambar 7.7) dan CH₃COONa.

CH₃COONa terbentuk dari ion-ion Na⁺ dan CH₃COO⁻. Ion Na⁺ berasal dari basa kuat (NaOH), tidak bereaksi dengan air. Ion CH₃COO⁻ berasal dari asam lemah (CH₃COOH), bereaksi dengan air. Jadi NaCH₃COO terhidrolisis sebagian (parsial).



Sumber: www.shutterstock.com

Gambar 7.7 Cangkang Mollusca seperti

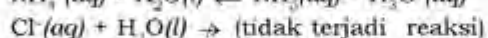
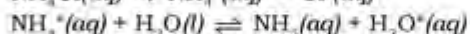
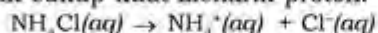
Cypraea nuxia tersusun oleh kalsium karbonat, suatu garam yang bersifat basa

Hasil reaksi hidrolisis garam ini menghasilkan ion OH^- . Adanya ion OH^- pada hasil reaksi menunjukkan bahwa garam tersebut bersifat basa. Jika diuji dengan kertas lakmus merah, maka warna kertas lakmus berubah menjadi biru.

b. Garam yang Berasal dari Basa Lemah dan Asam Kuat

Garam yang terbentuk dari asam kuat dan basa lemah dalam air bersifat asam karena kationnya terhidrolisis (memberi proton dalam air), sedangkan anionnya tidak. Contoh dari garam ini adalah NH_4Cl .

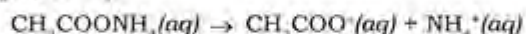
NH_4Cl terdiri dari ion-ion NH_4^+ dan Cl^- . Ion NH_4^+ yang merupakan asam konjugasi dari basa lemah NH_3 dapat memberi proton pada air. Ion Cl^- yang merupakan basa konjugasi dari asam kuat HCl tidak cukup kuat menarik proton.



Adanya ion H_3O^+ pada reaksi tersebut menunjukkan bahwa garam tersebut bersifat asam. Jika diuji keasamannya dengan kertas lakmus biru, maka warna kertas lakmus berubah menjadi merah.

c. Garam yang Berasal dari Asam Lemah dan Basa Lemah

Garam yang berasal dari asam lemah dan basa lemah akan mengalami hidrolisis total dalam air. Kation dan anion berasal dari asam lemah dan basa lemah. Contoh dari garam ini adalah $\text{CH}_3\text{COONH}_4$.



Pada hasil reaksi terdapat ion H_3O^+ dan OH^- . Jadi garam ini bisa bersifat asam, basa, atau netral tergantung dari kekuatan relatif asam dan basa yang bersangkutan yang ditunjukkan dari harga K_a (tetapan ionisasi asam lemah) dan K_b (tetapan ionisasi basa lemah). Salah satu contoh garam yang bersifat netral adalah kalium nitrat yang terdapat pada pengawet sosis (Gambar 7.8).



Sumber: www.farmal.com
Gambar 7.8 Salah satu bahan pengawet dalam sosis adalah kalium nitrat, merupakan garam yang bersifat netral

Hubungan antara K_a dan K_b :

- 1) Jika harga K_a lebih besar daripada K_b , berarti konsentrasi ion H^+ lebih besar daripada konsentrasi ion OH^- sehingga garam tersebut bersifat asam.
- 2) Jika harga K_a lebih kecil daripada K_b , berarti konsentrasi ion H^+ lebih kecil daripada konsentrasi ion OH^- sehingga garam tersebut bersifat basa.
- 3) Jika harga K_a sama dengan K_b , berarti konsentrasi ion H^+ dan OH^- sama sehingga garam bersifat netral.

Serba-serbi Kimia



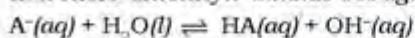
Garam dapur yang kita makan sehari-hari mengandung banyak manfaat antara lain membantu gerak saraf, menggerakkan otot, dan menjaga kesetimbangan cairan tubuh. Namun apabila konsumsi garam berlebihan akan menyebabkan beberapa masalah kesehatan, antara lain tekanan darah tinggi. Volume darah dapat meningkat akibat konsumsi garam. Akibatnya, jantung harus bekerja lebih keras untuk memompa darah melalui arteri. Baru-baru ini, *The Science Advisory Committee on Nutrient* (SACN) mengungkapkan bahwa konsumsi garam yang berlebihan dapat menyebabkan stroke dan serangan jantung. SCAN menyarankan agar konsumsi garam tidak lebih dari 6 gram per hari. Coba kalian sebutkan beberapa garam yang lain!

F. pH Larutan Garam

Pada reaksi hidrolisis, jumlah garam yang mengalami hidrolisis hanya sedikit, tetapi tetap menyebabkan perubahan pH larutan, karena itu reaksi hidrolisis termasuk reaksi kesetimbangan. Tetapan kesetimbangan reaksi hidrolisis disebut tetapan hidrolisis (K_h).

1. Garam yang Berasal dari Asam Lemah dan Basa Kuat

Garam yang berasal dari asam lemah dan basa kuat mengalami hidrolisis parsial. Misal pada larutan garam CH_3COONa , maka hidrolisis anionnya adalah sebagai berikut.



Tetapan hidrolisis untuk reaksi di atas adalah:

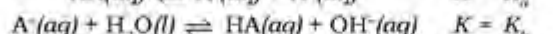
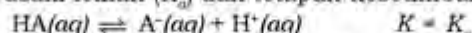
$$K_h = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]}$$

Oleh karena $[HA]$ selalu sama dengan $[OH^-]$, sedangkan konsentrasi kesetimbangan ion A^- dapat dianggap sama dengan konsentrasi ion A^- yang berasal dari garam (jumlah ion A^- yang terhidrolisis dapat diabaikan). Jika konsentrasi ion A^- itu dimisalkan M , maka:

$$[OH^-]^2 = K_b \times M$$

$$K_b = \frac{[OH^-]^2}{M}$$

Jika harga tetapan hidrolisis K_b dihubungkan dengan tetapan ionisasi asam lemah (K_a) dan tetapan kesetimbangan air (K_w), maka:



Sesuai dengan prinsip kesetimbangan, persamaan berikut juga berlaku untuk reaksi-reaksi kesetimbangan di atas.

$$K_a \times K_b = K_w$$

↓

$$K_b = \frac{K_w}{K_a}$$

↓

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_a} M}$$



Sumber: *www.vetsin.com*

Gambar 7.9 MSG atau vetsin merupakan garam yang bersifat basa yang digunakan sebagai penyedap rasa pada makanan.

Contoh garam yang bersifat basa lainnya adalah natrium benzoat.

Garam ini terdapat pada MSG

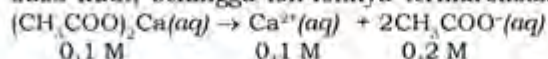
yang digunakan sebagai penyedap makanan (Gambar 7.9).

Contoh soal 7.7:

Jika harga K_a $CH_3COOH = 1,8 \times 10^{-5}$, tentukan pH larutan $(CH_3COO)_2Ca$ 0,1 M!

Penyelesaian:

$(CH_3COO)_2Ca$ merupakan garam yang berasal dari asam lemah dan basa kuat, sehingga ion-ionnya terhidrolisis.



0,1 M

0,1 M

0,2 M

$$\begin{aligned}
 [\text{OH}^-] &= \sqrt{\frac{K_b}{K_a} M} \\
 [\text{OH}^-] &= \sqrt{\frac{1 \times 10^{-14}}{1,8 \times 10^{-5}} \times 0,2} \\
 &= \sqrt{1,11 \times 10^{-10}} = 1,05 \times 10^{-5} \text{ M} \\
 \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\
 &= -\log 1,05 \times 10^{-5} \text{ M} = 5 - \log 1,05 \\
 \text{pH} &= 14 - \text{pOH} \\
 &= 14 - \log (5 - \log 1,5) \\
 &= 14 - 4,82 = 9,18
 \end{aligned}$$

Jadi pH larutannya adalah 9,18.

Contoh soal 7.8:

Garam CH_3COONa ($M_r = 82$) sebanyak 410 mg dilarutkan dalam air hingga volume 500 mL. Jika diketahui tetapan hidrolisis ($K_h = 10^{-5}$), tentukan pH larutan garam tersebut!

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah mmol } \text{CH}_3\text{COONa} &= \frac{\text{massa}}{M_r} \\
 &= \frac{410 \text{ mg}}{82 \text{ mg mmol}^{-1}} = 5 \text{ mmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{CH}_3\text{COONa}] &= \frac{n}{V} \\
 &= \frac{5 \text{ mmol}}{500 \text{ mL}} \\
 &= 10^{-2} \text{ M}
 \end{aligned}$$

Garam tersebut bersifat basa, jadi terdapat OH^- , sehingga:

$$\begin{aligned}
 [\text{OH}^-] &= \sqrt{K_h \times M} \\
 &= \sqrt{10^{-5} \times 10^{-2}} = 10^{-3,5} \\
 \text{pOH} &= 3,5 \\
 \text{pH} &= 14 - \text{pOH} \\
 &= 14 - 3,5 = 10,5
 \end{aligned}$$

Jadi berdasarkan perhitungan, pH larutan garam tersebut 10,5.

2. Garam yang Berasal dari Basa Lemah dan Asam Kuat

Garam yang berasal dari basa lemah dan asam kuat akan mengalami hidrolisis parsial, yaitu hidrolisis kation. Misal rumus kimia garam adalah BH^+ , maka hidrolisis kationnya adalah sebagai berikut.

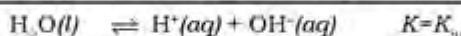
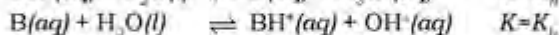
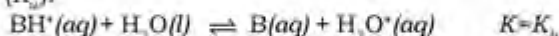


Tetapan hidrolisis untuk reaksi di atas adalah:

$$K_h = \frac{[B][H_3O^+]}{[BH^+]}$$

Konsentrasi ion H_3O^+ sama dengan konsentrasi B, sedangkan konsentrasi kesetimbangan ion BH^+ dapat dianggap sama dengan konsentrasi ion BH^+ yang berasal dari garam (jumlah ion BH^+ yang terhidrolisis dapat diabaikan). Jika konsentrasi ion BH^+ dimisalkan M , maka: $[H^+] = \sqrt{K_h \times M}$

Selanjutnya, harga tetapan hidrolisis K_h dapat dikaitkan dengan tetapan ionisasi basa lemah (K_b) dan tetapan kesetimbangan air (K_w).



Sesuai dengan prinsip kesetimbangan, berlaku:

$$K_h = \frac{K_w}{K_b} \rightarrow [H^+] = \sqrt{\frac{K_w}{K_b} M}$$

Contoh garam tersebut adalah amonium nitrat yang terbentuk dari asam nitrat dan amonium klorida. Garam ini digunakan untuk alat kompres dingin (Gambar 7.10).



Sumber: www.onlinemart.com
Gambar 7.10 Garam amonium nitrat yang bersifat asam digunakan untuk alat kompres dingin

Contoh soal 7.9:

Jika 100 mL NH_4OH 0,4 M direaksikan dengan 100 mL larutan HCl 0,4 M, $K_b NH_4OH = 2 \times 10^{-5}$, tentukan pH campuran setelah bereaksi!

Penyelesaian:

$$\text{Jumlah mmol NH}_4\text{OH} = V \times M = 100 \text{ mL} \times 0,4 \text{ M} = 40 \text{ mmol}$$

$$\text{Jumlah mmol HCl} = V \times M = 100 \text{ mL} \times 0,4 \text{ M} = 40 \text{ mmol}$$



$$\text{Mula-mula : } 40 \text{ mmol} \quad 40 \text{ mmol} \quad - \quad -$$

$$\text{Reaksi : } 40 \text{ mmol} \quad 40 \text{ mmol} \quad 40 \text{ mmol} \quad 40 \text{ mmol}$$

$$\text{Setimbang : } - \quad - \quad 40 \text{ mmol} \quad 40 \text{ mmol}$$

Jadi setelah reaksi hanya terdapat NH_4Cl dan H_2O sehingga terjadi hidrolisis garam yang bersifat asam.

$$[\text{NH}_4\text{Cl}] = \frac{n}{V} = \frac{40 \text{ mmol}}{200 \text{ mL}} = 0,2 \text{ M}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{\frac{K_w}{K_b} M} = \sqrt{\frac{10^{-14}}{2 \times 10^{-5}} \times 0,2}$$

$$= 10^{-5}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log 10^{-5}$$

$$= 5$$

Jadi, setelah bereaksi pH campuran = 5.

3. Garam yang Berasal dari Asam Lemah dan Basa Lemah

Garam yang berasal dari asam lemah dan basa lemah mengalami hidrolisis total. Adapun pH larutan, secara kuantitatif sukar dikaitkan dengan harga K_a dan K_b maupun dengan konsentrasi garam. pH larutan yang tepat hanya bisa ditentukan melalui pengukuran. pH larutan garam ini dapat diperkirakan dari rumus:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{\frac{K_w \times K_a}{K_b}} \rightarrow K_b = \frac{K_w}{K_a \times K_b}$$

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual, kecakapan personal**, dan **akademik** kalian!

Tugas 7.2

1. Tentukan tetapan hidrolisis garam-garam berikut:

a. NaCH_3COO ($K_a \text{ CH}_3\text{COOH} = 1,8 \times 10^{-5}$)

b. NH_4Cl ($K_b \text{ NH}_3 = 1,8 \times 10^{-5}$)

- Sebanyak 100 mL larutan NaOH 0,1 M dicampurkan dengan 100 mL larutan CH_3COOH 0,1 M. Jika K_a CH_3COOH sebesar $1,8 \times 10^{-5}$, tentukan pH larutan!
- Jika 2 L larutan CH_3COOH 4 M direaksikan dengan 8 L larutan $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 0,5 M, K_a $\text{CH}_3\text{COOH} = 2 \times 10^{-5}$, tentukan:
 - pH larutan masing-masing sebelum bereaksi, dan
 - pH larutan setelah bereaksi!
- Jika 107 mg salmiak (NH_4Cl) dilarutkan dalam air hingga 1 L, tetapan hidrolisis $K_h = 10^{-9}$, tentukan pH larutan garam tersebut!
- Jika K_b $\text{NH}_3 = 1 \times 10^{-5}$, berapa gram kristal NH_4Cl diperlukan untuk membuat 500 mL larutan dengan pH = 5? (Diketahui A, H = 1, N = 14, Cl = 35,5)

Catatan: Tugas dikumpulkan dan dinilai oleh guru.

Rangkuman

- Reaksi asam dan basa menghasilkan garam dan air.
- Titration asam-basa adalah metode penentuan konsentrasi kadar larutan asam dengan zat penitrasi larutan basa atau sebaliknya.
- Kurva titration adalah grafik yang menyatakan perubahan pH pada penetesan asam dengan basa, atau sebaliknya. Kurva ini tergantung dari asam dan basa yang digunakan.
- Kesetimbangan dalam larutan terjadi pada larutan penyangga dan hidrolisis.
- Larutan penyangga (buffer) adalah larutan yang pH-nya praktis tidak berubah walaupun ditambahkan sedikit asam, sedikit basa, atau bila larutan diencerkan.
- Larutan penyangga asam mengandung suatu asam lemah dan basa konjugasinya.
- Larutan penyangga basa mengandung suatu basa lemah dan asam konjugasinya.
- Dalam tubuh manusia, sistem larutan penyangga terdapat dalam sel, cairan antarsel, dan dalam darah.
- Reaksi antara air dan ion-ion yang berasal dari asam lemah atau basa lemah disebut reaksi hidrolisis.

4. Ke dalam 100 mL larutan CH_3COOH 0,1 M ditambahkan padatan CH_3COONa sehingga pH larutan = 6.
Jika K_a $\text{CH}_3\text{COOH} = 2 \times 10^{-5}$, maka massa CH_3COONa ($M_r = 82$) yang ditambahkan adalah . . .
A. 164 g
B. 82 g
C. 16,4 g
D. 8,2 g
E. 1,64 g
5. pH campuran yang **tidak** akan berubah oleh pengaruh pengenceran adalah . . .
A. asam asetat dengan amonium klorida
B. asam asetat dengan natrium klorida
C. asam sulfat dengan natrium hidroksida
D. asam asetat dengan natrium hidroksida
E. asam asetat dengan kalium asetat
6. Perbandingan volume CH_3COOH 0,1 M ($K_a = 10^{-5}$) dan NaOH 0,1 M yang harus dicampurkan untuk membuat larutan buffer dengan pH = 6 adalah . . .
A. 2 : 1
B. 1 : 10
C. 10 : 1
D. 11 : 1
E. 11 : 10
7. Ke dalam 1 L larutan asam asetat 0,1 M dengan pH = 3 ditambah garam natrium asetat supaya pH-nya menjadi dua kali semula, Jika K_a asam asetat = 10^{-5} , maka garam natrium asetat yang ditambahkan sebanyak . . .
A. 1 mol
B. 0,1 mol
C. 0,01 mol
D. 0,001 mol
E. 0,0001 mol
8. Ke dalam 1 L asam asetat 0,2 M ditambahkan padatan NaOH sehingga pH larutan menjadi 4. Jika M_r NaOH = 40 dan K_a asam asetat = 2×10^{-5} , maka jumlah NaOH yang ditambahkan sebanyak . . .
A. 1,33 g
B. 2,00 g
C. 2,33 g
D. 3,00 g
E. 3,33 g
9. Untuk membuat larutan penyangga yang mempunyai pH = 4, ke dalam 100 mL larutan CH_3COOH 0,5 M ($K_a = 10^{-5}$) harus ditambahkan larutan CH_3COONa 0,1 M sebanyak . . .
A. 100 mL
B. 50 mL
C. 10 mL
D. 5 mL
E. 1 mL

10. Jika perbandingan mol asam: basa konjugasinya adalah 3 : 1, sedangkan K_a asam lemahnya adalah 10^{-5} , maka
- $\text{pH} < 5$
 - $\text{pH} = 5$
 - $\text{pH} > 5$
 - $\text{pH} > 7$
 - $5 < \text{pH} < 7$
11. pH campuran 200 mL larutan NH_4OH 0,4 M dengan 200 mL larutan HCl 0,2 M adalah . . . ($K_b \text{ NH}_4\text{OH} = 10^{-5}$).
- 5
 - 9
 - 10
 - 11
 - 12
12. Larutan CH_3COOH 0,2 M sebanyak 400 mL direaksikan dengan 100 mL larutan $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 0,2 M. Jika $K_a \text{ CH}_3\text{COOH} = 2 \times 10^{-5}$, maka pH setelah reaksi adalah
- 5
 - $5 - \log 2$
 - 6
 - 9
 - $9 + \log 2$
13. Ion berikut mengalami hidrolisis dalam air, **kecuali**
- Na^+
 - CN^-
 - S^{2-}
 - Al^{3+}
 - CO_3^{2-}
14. Garam berikut yang mengalami hidrolisis total adalah
- NH_4Br
 - K_2CO_3
 - BaCO_3
 - AlCl_3
 - $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$
15. Garam berikut ini yang larutannya dalam air bersifat basa adalah
- kalium asetat
 - natrium sulfat
 - natrium klorida
 - amonium asetat
 - amonium klorida
16. Garam yang mempunyai $\text{pH} > 7$ dalam larutannya adalah
- NaCl
 - Na_2SO_4
 - K_2SO_4
 - K_2CO_3
 - BaSO_4
17. Terdapat 4 L larutan NH_4Cl 0,01 M, pH larutan garam tersebut adalah . . . ($K_a = 10^{-9}$).
- 5
 - 5,5
 - 9
 - 8,5
 - 10

Bab VIII

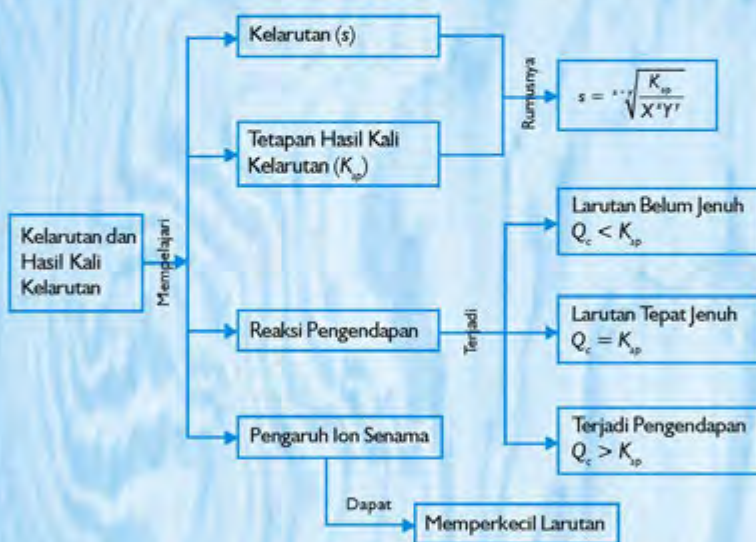
Kelarutan dan Hasil Kali Kelarutan

Sumber gambar: *Wikipedia*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat meramalkan terbentuknya endapan dari suatu reaksi berdasarkan prinsip kelarutan dan hasil kali kelarutan.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Kelarutan
2. Jenuh
3. Pengendapan



Sumber: Jendela Iptek.

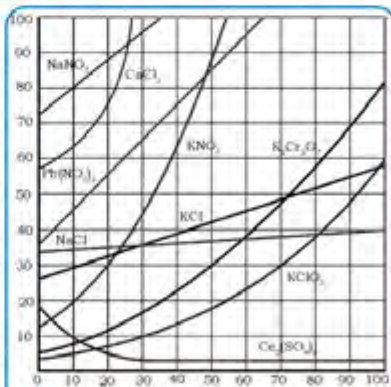
Gambar 8.1 Reaksi kimia yang menimbulkan endapan.

Bayangkan jika kita menambahkan sedikit demi sedikit kristal natrium klorida ke dalam sejumlah tertentu air. Mula-mula kristal itu larut, tetapi pada suatu saat akan jenuh dan kristal natrium klorida tidak dapat larut lebih banyak lagi. Mengapa hal itu bisa terjadi? Larutan tersebut dikatakan sudah jenuh. Demikian juga dalam reaksi kimia, pada saat mereaksikan dua jenis larutan dengan perbandingan tertentu didapatkan suatu keadaan jenuh yang akhirnya timbul endapan seperti terlihat pada Gambar 8.1.

A. Pengertian Kelarutan dan Hasil Kali Kelarutan

Kelarutan (*solubility*) menyatakan jumlah maksimum zat yang dapat larut dalam sejumlah tertentu larutan/pelarut. Kelarutan suatu zat biasanya juga dinyatakan sebagai massa dalam gram yang dapat melarut dalam 100 gram pelarut membentuk larutan jenuh pada suhu tertentu atau mol per liter larutan.

Dari grafik di samping terlihat bahwa kelarutan tergantung pada suhu. Semakin tinggi suhu, maka suatu zat akan semakin mudah

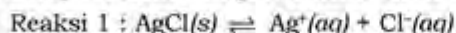


Sumber: Understanding Chemistry

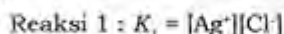
Grafik Hubungan kelarutan beberapa zat terhadap suhu

larut. Sebagai contoh, kelarutan NaCl pada suhu kamar sekitar 40 gram per 100 gram air.

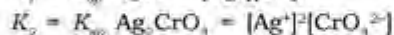
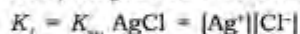
Apakah yang terjadi pada larutan garam yang sudah mencapai keadaan jenuh? Setelah mencapai keadaan jenuh ternyata tetap terjadi proses melarut, tetapi pada saat yang sama terjadi pula proses pengkristalan dengan laju yang sama. Dengan kata lain, dalam keadaan jenuh terdapat kesetimbangan antara zat padat tidak larut dengan larutannya. Perhatikan persamaan reaksi berikut!



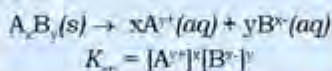
Apabila pada keadaan kesetimbangan heterogen terdapat larutan dan padatan, maka hanya konsentrasi ion-ion saja yang diperhitungkan dalam menentukan harga tetapan kesetimbangan. Jadi:



Reaksi di atas merupakan contoh ion-ion larutan elektrolit (garam yang sedikit larut, maka tetapan kesetimbangan yang berlaku disebut tetapan hasil kali kelarutan (*solubility product constant*) dinyatakan dalam K_{sp} .



Dapat disimpulkan dari contoh di atas, persamaan kesetimbangan larutan garam A_xB_y yang sedikit larut secara umum dapat dituliskan sebagai berikut.



Contoh soal 8.1:

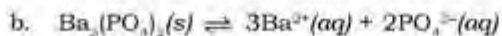
Tuliskan rumusan K_{sp} untuk garam-garam berikut ini!

- AlCl_3
- $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$
- $\text{Al}(\text{OH})_3$

Penyelesaian:

- $$\text{AlCl}_3(s) \rightleftharpoons \text{Al}^{3+}(aq) + 3\text{Cl}^-(aq)$$

$$K_{sp} = [\text{Al}^{3+}][\text{Cl}^-]^3$$



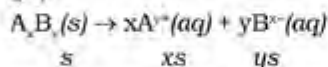
$$K_{sp} = [\text{Ba}^{2+}]^3[\text{PO}_4^{3-}]^2$$



$$K_{sp} = [\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3$$

B. Hubungan antara Kelarutan (s) dan Hasil Kali Kelarutan (K_{sp})

Apabila larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ditambahkan pada larutan KI akan timbul endapan kuning PbI_2 (Gambar 8.2). Coba kalian rumuskan K_{sp} garam tersebut. Jumlah zat terlarut dapat dihitung dari harga K_{sp} dan sebaliknya, harga K_{sp} dapat ditentukan jika harga kelarutan zat (s) diketahui. Perhatikan persamaan kesetimbangan larutan garam A_xB_y .



Hubungan antara tetapan hasil kali kelarutan (K_{sp}) elektrolit A_xB_y dengan kelarutannya dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K_{sp} \text{ A}_x\text{B}_y &= [\text{A}^{+}]^x [\text{B}^{-}]^y \\ &= [xs]^x [ys]^y \\ &= x^x y^y s^{x+y} \end{aligned}$$

$$K_{sp} \text{ A}_x\text{B}_y = (x^x \times y^y) \times s^{x+y}$$

Kelarutannya:
$$s = \sqrt[x+y]{\frac{K_{sp}}{x^x \times y^y}}$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui hubungan antara kelarutan (s) dan hasil kali kelarutan (K_{sp}) untuk garam yang harga x dan y-nya sama yaitu bahwa *harga kelarutan berbanding lurus dengan K_{sp}* . Semakin besar harga K_{sp} , garam tersebut semakin mudah larut, sedangkan semakin kecil harga K_{sp} maka garam tersebut semakin sukar larut.



Sumber: Doki Permatasari

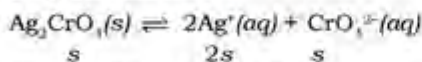
Gambar 8.2 Bila larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang berwarna jernih ditambahkan larutan KI akan timbul endapan kuning.

pH suatu larutan dapat diketahui apabila konsentrasi masing-masing ion diketahui (kelarutannya). Untuk lebih memahami pengertian di atas, perhatikan contoh soal berikut ini!

Contoh soal 8.2:

Diketahui kelarutan Ag_2CrO_4 pada suhu 298 K adalah $8,43 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$. Tentukan tetapan hasil kali kelarutan Ag_2CrO_4 pada suhu 298 K!

Penyelesaian:



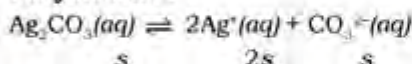
$$\begin{aligned} K_{sp} \text{ Ag}_2\text{CrO}_4 &= [\text{Ag}^+]^2[\text{CrO}_4^{2-}] \\ &= (2s)^2(s) \\ &= 4s^3 \\ &= 4 \times (8,43 \times 10^{-5})^3 \\ &= 2,4 \times 10^{-12} \end{aligned}$$

Jadi, tetapan hasil kali kelarutan dari Ag_2CrO_4 pada suhu 298 K adalah $2,4 \times 10^{-12}$.

Contoh soal 8.3:

Diketahui kelarutan $K_{sp} \text{ Ag}_2\text{CO}_3 = 3,2 \times 10^{-11}$. Hitunglah kelarutan Ag_2CO_3 ($M_r = 276$) per literanya!

Penyelesaian:



$$\begin{aligned} K_{sp} \text{ Ag}_2\text{CO}_3 &= [\text{Ag}^+]^2[\text{CO}_3^{2-}] \\ &= (2s)^2(s) \\ &= 4s^3 \end{aligned}$$

$$3,2 \times 10^{-11} = 4s^3$$

$$\begin{aligned} s &= \sqrt[3]{\frac{3,2 \times 10^{-11}}{4}} \\ &= 2 \times 10^{-4} \text{ M} \end{aligned}$$

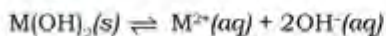
$$\begin{aligned} \text{Kelarutan Ag}_2\text{CO}_3 &= M \times M_r \\ &= (2 \times 10^{-4})(276) \\ &= 0,0552 \text{ g L}^{-1} \\ &= 55,2 \text{ mg L}^{-1} \end{aligned}$$

Jadi kelarutan Ag_2CO_3 adalah 55,2 mg per liter.

Contoh soal 8.4:

K_{sp} $M(OH)_2$ pada suhu $25^\circ\text{C} = 4 \times 10^{-12}$. Tentukan pH jenuh larutan $M(OH)_2$!

Penyelesaian:



$$\begin{aligned} K_{sp} \quad M(OH)_2 &= [M^{2+}][OH^-]^2 \\ &= (s)(2s)^2 \\ &= 4s^3 \end{aligned}$$

$$4 \times 10^{-12} = 4s^3$$

$$s = \sqrt[3]{\frac{4 \times 10^{-12}}{4}}$$

$$= 10^{-4} \text{ M}$$

$$[OH^-] \text{ jenuh} = 2s = 2 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$pOH = -\log [OH^-] = -\log 2 \times 10^{-4} = 4 - \log 2$$

$$pH = 14 - (4 - \log 2)$$

$$= 10 + \log 2$$

Jadi, pH jenuh larutan $M(OH)_2$ adalah $10 + \log 2$

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

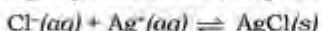
Tugas 8.1

1. Tentukan kelarutan garam-garam berikut ini, jika diketahui:
 - a. $K_{sp} \text{ AgBr} = 1 \times 10^{-13}$
 - b. $K_{sp} \text{ Mg(OH)}_2 = 6 \times 10^{-12}$
2. Jika diketahui pH jenuh larutan $L(OH)_3$ adalah 10, tentukan harga $K_{sp} \text{ L(OH)}_3$!
3. Sebanyak 200 mL larutan jenuh MgF_2 diuapkan pada suhu 18°C dan diperoleh 3,8 mg MgF_2 padat. Berapakah $K_{sp} \text{ MgF}_2$ pada suhu tersebut? ($A_r \text{ Mg} = 24$, $F = 19$).

C. Reaksi Pengendapan

Jika terdapat endapan pada akhir suatu reaksi, maka dapat disimpulkan bahwa telah terjadi sebuah proses kimia. Bila terjadi reaksi pengendapan, maka larutan yang direaksikan akan menghasilkan ion-ionnya.

Salah satu contoh dari reaksi ini adalah reaksi antara AgNO_3 dan NaCl seperti ditunjukkan Gambar 8.3. Kedua larutan ini mudah larut dalam air. Artinya larutan NaCl mengandung ion-ion Na^+ dan Cl^- . Demikian pula dengan AgNO_3 , larutannya mengandung ion-ion Ag^+ dan NO_3^- . Apabila larutan NaCl ditetesi dengan larutan AgNO_3 , maka ion Cl^- bereaksi dengan Ag^+ dan membentuk endapan AgCl . Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



Terbentuknya endapan atau tidak pada akhir proses reaksi tergantung pada konsentrasi ion-ion dipangkatkan dengan koefisiennya. Misalnya pada penambahan larutan Ag^+ ke dalam larutan Cl^- , seperti reaksi di atas, dapat terjadi tiga kemungkinan sebagai berikut:

- Jika $[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] < K_{sp} \text{ AgCl}$, larutan belum jenuh (belum menghasilkan endapan).
- Jika $[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = K_{sp} \text{ AgCl}$, larutan tepat jenuh (akan mulai mengendap jika salah satu ion diperbesar).
- Jika $[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] > K_{sp} \text{ AgCl}$, larutan lewat jenuh (terjadi pengendapan).

Hasil kali konsentrasi dapat disebut dengan Q_c . Untuk mengetahui apakah keadaan larutan belum jenuh, tepat jenuh, atau terjadi pengendapan dapat dilihat nilai Q_c -nya dengan ketentuan sebagai berikut.

- Jika $Q_c < K_{sp}$, larutan belum jenuh.
- Jika $Q_c = K_{sp}$, larutan tepat jenuh.
- Jika $Q_c > K_{sp}$, terjadi pengendapan.



Sumber: Dok. Penerbit

Gambar 8.3 Penambahan AgNO_3 pada larutan NaCl akan membentuk endapan AgCl

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, **berpikir kritis**, **etos kerja**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan

Hubungan K_{sp} dan Pengendapan Zat

Tujuan:

Membuktikan hubungan antara K_{sp} dan proses pengendapan suatu zat.

Alat:

1. Tabung reaksi
2. Gelas ukur
3. Pipet tetes

Bahan:

1. Larutan NaCl 0,1 M
2. Larutan NaCl 10^{-5} M
3. Larutan AgNO₃ 0,1 M
4. Larutan AgNO₃ 10^{-6} M

Cara Kerja:

1. Siapkan empat buah tabung reaksi yang telah diberi label A, B, C, dan D. Kemudian isi tabung A dan B dengan 1 mL NaCl 0,1 M dan tabung C dan D dengan 1 mL NaCl 10^{-5} M.
2. Tambahkan 1 mL larutan AgNO₃ 0,1 M ke dalam tabung A dan 1 mL larutan AgNO₃ 10^{-6} M ke dalam tabung C kemudian amati banyaknya endapan yang dihasilkan pada tabung A dan C.
3. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.

Hasil Pengamatan:

Tabung	Pengamatan
A
B
C
D

Pertanyaan dan Tugas:

1. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi!
2. Carilah data K_{sp} setiap garam yang terbentuk, kemudian hitung harga Q_c setiap garam yang terbentuk dan bandingkan dengan harga K_{sp} -nya!
3. Buat laporan hasil percobaan! Diskusikan dengan teman kalian!

Kalian dapat meramalkan apakah pencampuran dua larutan akan menghasilkan endapan atau tidak berdasarkan harga konsentrasi dan volume masing-masing larutan serta K_{sp} garam yang terbentuk. Untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh soal berikut!

Contoh soal 8.5:

Jika 500 mL larutan AgNO_3 10^{-4} M dicampurkan dengan 500 mL larutan NaCl 2×10^{-6} M, apakah terbentuk endapan AgCl ? ($K_{sp} \text{AgCl} = 1,6 \times 10^{-10}$)

Penyelesaian:

Setelah pencampuran:

$$[\text{AgNO}_3] = [\text{Ag}^+] = \frac{V_1 \times M}{V_1 + V_2} = \frac{500 \times 10^{-4}}{500 + 500} = 5 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$[\text{NaCl}] = [\text{Cl}^-] = \frac{V_1 \times M}{V_1 + V_2} = \frac{500 \times 2 \times 10^{-6}}{500 + 500} = 10^{-6} \text{ M}$$

$$Q_c \text{AgCl} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] \\ = (5 \times 10^{-5})(10^{-6}) = 5 \times 10^{-11}$$

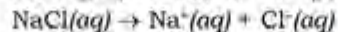
Karena, $Q_c < K_{sp}$ sehingga tidak (belum) terjadi pengendapan AgCl .

D. Pengaruh Ion Senama pada Kelarutan

Suatu larutan elektrolit, akan terurai menjadi ion-ionnya dalam larutannya, misalnya pada larutan jenuh AgCl . Apa yang terjadi jika larutan jenuh itu ditambahkan larutan AgNO_3 atau NaCl ? Dalam larutan jenuh AgCl terdapat kesetimbangan antara AgCl padatan dengan ion-ion Ag^+ dan Cl^- .



Dengan menambah larutan AgNO_3 atau NaCl , maka konsentrasi ion Ag^+ atau ion Cl^- dalam larutan akan semakin besar.



Pada reaksi di atas dapat dilihat bahwa terjadi pergeseran kesetimbangan yang dikarenakan adanya ion senama, sesuai dengan bunyi asas kesetimbangan. Jumlah AgCl yang larut berkurang karena proses pergeseran kesetimbangan. Dengan demikian disimpulkan bahwa dengan menambah ion senama akan **memperkecil kelarutan**, artinya elektrolit akan semakin sukar larut. Seperti halnya kesetimbangan pada umumnya, ion senama tidak akan mempengaruhi harga tetapan hasil kali kelarutan, asalkan suhu tidak berubah. Endapan yang dihasilkan dari reaksi-reaksi kimia dapat dipisahkan dari larutannya menggunakan sentrifuge (Gambar 8.4). Untuk lebih memahami materi, perhatikan contoh soal berikut!



Sumber: *www.fys.uio.no*

Gambar 8.4 Sentrifuge digunakan untuk memisahkan endapan dari larutannya

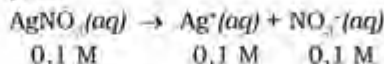
Contoh soal 8.6:

Diketahui harga K_{sp} $\text{AgCl} = 1,6 \times 10^{-10}$. Tentukan kelarutan AgCl dalam:

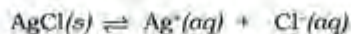
- larutan AgNO_3 0,1 M,
- larutan NaCl 0,4 M!

Penyelesaian:

- Reaksi yang terjadi:



Konsentrasi Ag^+ 0,1 M dalam larutan merupakan konsentrasi awal. Kemudian, ke dalam larutan ditambahkan AgCl . Jika yang larut adalah x , maka:



Mula-mula : 0,1 M

Reaksi : x M x M x M

Setimbang : x M $(0,1 + x)$ M x M

Pada keadaan setimbang, konsentrasi $\text{Ag}^+ = (0,1 + x)$ M. Karena harga x kecil sekali sehingga dapat diabaikan, konsentrasi $\text{Ag}^+ = 0,1$ M.

$$K_{sp} \text{ AgCl} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$$

$$1,6 \times 10^{-10} = (0,1)(x)$$

$$x = \frac{1,6 \times 10^{-10}}{0,1} = 1,6 \times 10^{-9} \text{ M}$$

Jadi, kelarutan AgCl dalam larutan AgNO_3 0,1 M adalah $1,6 \times 10^{-9}$ M.

- b. Untuk perhitungan kelarutan dengan adanya pengaruh ion senama, konsentrasi ion senama dimasukkan sesuai dengan yang diketahui dan ion yang lainnya sebagai kelarutan (*hati-hati dengan jumlah ion-ion yang dikandungnya*). Ion senama pada reaksi ini adalah Cl^- yang memiliki konsentrasi 0,4 M.

$$K_{sp} \text{ AgCl} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$$

$$1,6 \times 10^{-10} = (x)(0,4)$$

$$x = \frac{1,6 \times 10^{-10}}{0,4} = 4 \times 10^{-11} \text{ M}$$

Jadi, kelarutan AgCl dalam larutan NaCl 0,4 M adalah 4×10^{-11} M.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas 3.2

1. Diketahui harga $K_{sp} \text{ BaSO}_4 = 1,1 \times 10^{-10}$. Tentukan kelarutan BaSO_4 dalam:
 - a. larutan Ba(OH)_2 0,1 M,
 - b. larutan Na_2SO_4 0,02 M!
2. Harga $K_{sp} \text{ Ca(OH)}_2 = 4 \times 10^{-6}$, tentukan kelarutan Ca(OH)_2 pada larutan yang memiliki pH = 12!
3. Jika 250 mL larutan AgNO_3 10^{-3} M dicampurkan dengan 750 mL larutan Na_2CrO_4 10^{-2} M, apakah terbentuk endapan Ag_2CrO_4 ? ($K_{sp} \text{ Ag}_2\text{CrO}_4 = 2,4 \times 10^{-12}$).

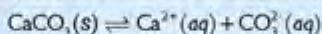
4. Jika 1 L larutan yang mengandung AgNO_3 10^{-5} M dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 10^{-3} M dicampurkan dengan 1 L larutan NaCl 10^{-2} M. Diketahui, $K_{sp} \text{AgCl} = 1,6 \times 10^{-10}$, $K_{sp} \text{PbCl}_2 = 1,7 \times 10^{-5}$, tentukan garam apa yang mengendap!

Serba-serbi Kimia

Stalagmit dan Stalaktit

Pernahkah kalian masuk ke dalam sebuah gua? Apakah kalian melihat stalagmit dan stalagtit di dalamnya? Tahukah kalian apakah stalagmit dan stalaktit itu? Stalagmit adalah batuan seperti es yang tumbuh dari dasar gua karena tetesan air, sedangkan stalaktit merupakan bentukan batuan yang serupa yang menggantung di atap gua. Bagaimana keduanya terbentuk?

Di dalam batuan terdapat suatu mineral nonsilika, salah satunya batu kapur (CaCO_3).



$K_{sp} \text{CaCO}_3 = 8,7 \times 10^{-9}$, sehingga cenderung sukar larut dalam air, tetapi CaCO_3 larut dalam asam.

Rangkuman

1. Kelarutan adalah jumlah maksimum zat yang dapat larut dalam sejumlah tertentu larutan/pelarut.
2. Tetapan hasil kali kelarutan (K_{sp}), dirumuskan:

$$K_{sp} = [\text{A}^{+}]^x [\text{B}^{+}]^y$$
3. Harga kelarutan (s) berbanding lurus dengan K_{sp} .
4. Keadaan larutan belum jenuh, tepat jenuh, atau terjadi pengendapan dilihat dari nilai hasil kali konsentrasi (Q_c) terhadap K_{sp} .

Uji Kompetensi

Kerjakan pada buku tugas kalian!

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Bila kelarutan barium fosfat, $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$, ialah $x \text{ mol L}^{-1}$, maka K_{sp} zat tersebut adalah . . .
 A. x^2 D. $27x^3$
 B. $4x^2$ E. $108x^3$
 C. $4x^3$
2. Apabila kelarutan Ag_3PO_4 dalam air adalah $x \text{ mol L}^{-1}$, maka hasil kali kelarutan larutan tersebut adalah . . .
 A. x^5
 B. $3x^3$
 C. $9x^3$
 D. $27x^4$
 E. $32x^4$
3. Jika harga K_{sp} Ag_2S adalah a , kelarutan Ag_2S dalam air adalah . . . mol L^{-1} .
 A. $4a^{\frac{1}{3}}$
 B. $a^{\frac{1}{3}}$
 C. $\frac{1}{4} a^{\frac{1}{3}}$
 D. $(\frac{1}{4} a)^{\frac{1}{3}}$
 E. $(\frac{1}{4} - a)^{\frac{1}{3}}$
4. Apabila kelarutan suatu basa $\text{M}(\text{OH})_2$ dalam air adalah $5 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$, maka larutan jenuh $\text{M}(\text{OH})_2$ mempunyai pH sebesar . . .
 A. 3 D. 9
 B. 5 E. 11
 C. 7
5. Larutan jenuh basa $\text{L}(\text{OH})_2$ mempunyai $\text{pH} = 10 + \log 2$. K_{sp} basa tersebut adalah . . .
 A. $3,3 \times 10^{-17}$
 B. $4,0 \times 10^{-16}$
 C. $2,7 \times 10^{-15}$
 D. $4,0 \times 10^{-12}$
 E. $3,3 \times 10^{-5}$

6. Jika $K_{sp} \text{Ca(OH)}_2 = 4 \times 10^{-6}$, massa Ca(OH)_2 dalam 250 mL larutan adalah . . . ($M_r \text{Ca(OH)}_2 = 74$).
 - A. 0,740 g
 - B. 0,370 g
 - C. 0,185 g
 - D. 7,400 g
 - E. 3,700 g
7. Harga $K_{sp} \text{Ag}_2\text{SO}_4 = 3,2 \times 10^{-5}$, maka kelarutannya dalam 1 L air adalah . . .
 - A. $2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$
 - B. $2 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$
 - C. $2 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$
 - D. $1 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$
 - E. $4 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$
8. Pada suhu tertentu, kelarutan PbI_2 dalam air adalah $1,5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. Berdasarkan data tersebut, harga $K_{sp} \text{PbI}_2$ adalah . . .
 - A. $4,50 \times 10^{-9}$
 - B. $3,37 \times 10^{-9}$
 - C. $6,75 \times 10^{-9}$
 - D. $4,50 \times 10^{-8}$
 - E. $1,35 \times 10^{-8}$
9. Pada suhu tertentu 0,35 g BaF_2 ($M_r = 175$) larut dalam air murni membentuk 1 L larutan jenuh. Hasil kali kelarutan BaF_2 pada suhu ini adalah . . .
 - A. $1,75 \times 10^{-2}$
 - B. $4,0 \times 10^{-8}$
 - C. $3,2 \times 10^{-8}$
 - D. $3,2 \times 10^{-9}$
 - E. $4,0 \times 10^{-3}$
10. Bila diketahui $K_{sp} \text{Ag}_2\text{SO}_4 = 4 \times 10^{-12}$, maka konsentrasi ion Ag^+ dalam larutan jenuh Ag_2SO_4 adalah . . .
 - A. $0,5 \times 10^{-4} \text{ M}$
 - B. $1 \times 10^{-4} \text{ M}$
 - C. $2 \times 10^{-6} \text{ M}$
 - D. $3 \times 10^{-4} \text{ M}$
 - E. $4 \times 10^{-6} \text{ M}$

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Dalam 500 mL larutan dapat larut 0,65 gram $\text{Cu}(\text{IO}_3)_2$. Berapa K_{sp} garam tersebut? (Diketahui $A, O = 16$, $\text{Cu} = 63,5$, $I = 127$)
2. Suatu basa $\text{M}(\text{OH})_2$ mempunyai harga $K_{sp} = 1 \times 10^{-8}$. Apakah terbentuk endapan $\text{M}(\text{OH})_2$ apabila:
 - a. 50 mL larutan MSO_4 0,01 M dicampurkan dengan 50 mL larutan NH_3 0,1 M.
 - b. 50 mL larutan MSO_4 0,01 M dicampurkan dengan 50 mL larutan yang mengandung NH_3 dan NH_4Cl masing-masing 0,1 M ($K_b \text{NH}_3 = 1,8 \times 10^{-5}$).
3. Air sadah mengandung logam alkali tanah Cu^{2+} yang bereaksi dengan CO_3^{2-} membentuk CaCO_3 ($K_{sp} \text{CaCO}_3 = 8,7 \times 10^{-9}$). Apakah akan terbentuk endapan CaCO_3 jika 250 cuplikan air sadah dengan konsentrasi $\text{Ca}^{2+} = 8 \times 10^{-1}$ M direaksikan dengan:
 - a. 0,10 mL larutan Na_2CO_3 2×10^{-1} M,
 - b. 10 mg $\text{Na}_2\text{CO}_3(s)$.
4. Untuk menetralkan 10 mL larutan jenuh $\text{L}(\text{OH})_2$ dalam larutan NaOH 0,1 M diperlukan 11,5 mL HCl 0,1 M. Tentukan harga K_{sp} basa $\text{L}(\text{OH})_2$ tersebut!
5. Apakah campuran larutan-larutan di bawah ini akan menghasilkan endapan?
 - a. 5×10^{-2} mol larutan AgNO_3 dan 10^{-3} mol larutan NaCl yang terlarut dalam 300 mL larutan ($K_{sp} \text{AgCl} = 10^{-10}$).
 - b. 200 mL $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 0,0025 M dicampur dengan 300 mL larutan AlCl_3 0,005 M ($K_{sp} \text{PbCl}_2 = 1,6 \times 10^{-10}$).

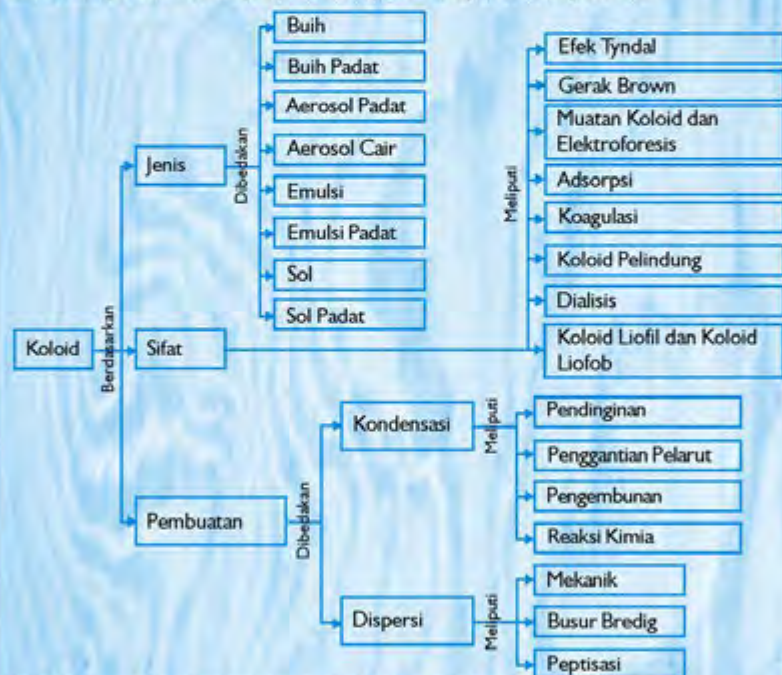
Bab IX

Sistem Koloid

Tujuan Pembelajaran

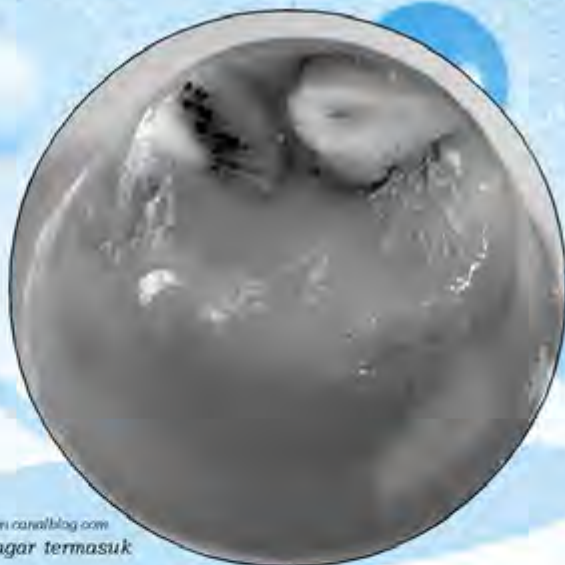
Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan berbagai sistem dan sifat koloid serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Koloid
2. Fase terdispersi
3. Medium pendispersi



Sumber: www.chairingjapan.com/blog.com

Gambar 9.1 Agar-agar termasuk sistem koloid

Sistem campuran yang telah kalian kenal ada 2 macam, yaitu sistem campuran homogen (larutan) dan campuran heterogen. Bagaimanakah halnya dengan agar-agar, susu, santan, dan cat? Termasuk sistem manakah? Ketiga zat tersebut tidak termasuk keduanya karena membentuk sistem di antara kedua campuran tersebut, yaitu sistem pencampuran **koloid**.

A. Komponen dan Pengertian Sistem Koloid

Kalian tentu sudah pernah membuat segelas air gula ataupun segelas susu, sekarang coba kalian masukkan satu sendok pasir dalam gelas berisi air kemudian diaduk. Apabila kalian amati antara ketiga pencampuran itu, apakah kalian dapat menemukan adanya perbedaan?

Apabila gula dilarutkan dalam air akan diperoleh larutan yang jernih, tidak berwarna, dan partikel gula tidak tampak lagi. Campuran ini disebut *larutan*. Campuran susu dengan air menghasilkan cairan yang keruh, partikel-partikel susu tampak homogen dengan air. Bila dibiarkan tidak terjadi endapan yang terpisah dengan air. Campuran ini disebut *koloid*. Campuran antara pasir dengan air disebut *suspensi*, walaupun diaduk pasir akan mengendap sehingga memisah dari air.

1. Pengertian Sistem Koloid

Istilah "koloid" pertama kali diusulkan oleh **Thomas Graham** (1805 - 1869) dari Inggris sewaktu mempelajari sifat difusi beberapa larutan yang berdifusi melalui membran kertas perkamen. Graham

menemukan bahwa larutan seperti natrium klorida mudah berdifusi, sedangkan zat-zat seperti kanji, gelatin, dan putih telur sangat lambat atau sama sekali tidak berdifusi. Zat-zat yang sukar berdifusi tersebut dinamakan koloid (bahasa Yunani: *kolla* = perekat atau lem).

Tahun 1907, **Ostwald** mengemukakan istilah sistem terdispersi bagi zat yang terdispersi dalam suatu medium pendispersi. Analogi dalam larutan, fase terdispersi adalah zat terlarut, sedangkan medium pendispersi adalah zat pelarut. Tahun 1912, **Richard Esignondi (Jerman)**, mendesain mikroskop ultra untuk mengamati partikel-partikel terlarut termasuk partikel koloid. Perbandingan antara larutan, koloid, dan suspensi dapat dilihat dalam Tabel 9.1 berikut.

Tabel 9.1 Perbedaan Larutan, Koloid, dan Suspensi

No.	Larutan	Koloid	Suspensi
1.	Diameter partikel kurang dari 10^{-7} cm	Diameter partikel antara 10^{-7} cm- 10^{-5} cm	Diameter partikel lebih dari 10^{-5} cm
2.	Homogen	Secara makroskopis homogen, tetapi jika dilihat dengan mikroskop ultra heterogen	Heterogen
3.	Satu fase	Dua fase	Dua fase
4.	Jernih	Keruh	Keruh
5.	Tidak memisah jika didiamkan	Tidak memisah jika didiamkan	Memisah jika didiamkan
6.	Tidak dapat disaring dengan penyaring apapun	Dapat disaring dengan penyaring ultra	Dapat disaring dengan penyaring biasa

2. Jenis-jenis Koloid

Fase terdispersi (fase dalam) maupun medium pendispersi (fase luar) dalam suatu sistem koloid dapat berupa gas, cair, atau padat. Fase terdispersi (fase dalam) adalah zat yang jumlahnya sedikit, sedangkan zat yang jumlahnya banyak disebut medium pendispersi (fase luar). Namun perlu dikemukakan bahwa campuran gas dengan

gas tidak membentuk sistem koloid, sebab semua gas akan bercampur homogen dalam segala perbandingan.

Berdasarkan hal tersebut, sistem koloid dapat dibedakan menjadi 8 jenis seperti tercantum dalam Tabel 9.2.

Tabel 9.2 Jenis-jenis Koloid

No.	Fase Terdispersi	Medium Pendispersi	Nama Koloid	Contoh
1.	gas	cair	buih	buih sabun
2.	gas	padat	buih padat	batu apung
3.	cair	gas	aerosol cair	kabut, awan
4.	cair	cair	emulsi	susu, santan
5.	cair	padat	emulsi padat	jelly, keju
6.	padat	gas	aerosol padat	asap
7.	padat	cair	sol	kanji, cat
8.	padat	padat	sol padat	gelas berwarna

a. Buih

Pernahkan kalian melihat buih sabun pada saat mencuci? Buih tersebut merupakan sistem koloid dari gas yang terdispersi dalam zat cair. Jika zat pendispersinya berupa zat padat disebut *buih padat*. Buih banyak digunakan dalam berbagai proses, misalnya pada pengolahan bijih logam serta pada alat pemadam kebakaran.

Contoh buih: buih sabun dan krim kocok.

Contoh buih padat: karet busa dan batu apung.

b. Aerosol

Pernahkan kalian menggunakan *hair spray*? *Hair spray* merupakan partikel cair yang terdispersi dalam gas dan disebut aerosol. Apabila zat yang terdispersi berupa zat padat disebut *aerosol padat*, sedangkan jika yang terdispersi berupa zat cair disebut *aerosol cair*. Dewasa ini aerosol banyak digunakan dalam berbagai produk, misalnya semprot rambut (*hair spray*), parfum, cat semprot, dan lain sebagainya.

Contoh aerosol padat: asap dan debu di udara.

Contoh aerosol cair: kabut dan awan.

c. Emulsi

Emulsi merupakan sistem koloid dari zat cair yang terdispersi dalam zat cair yang lain. Syarat terjadinya emulsi ini adalah kedua jenis zat cair itu tidak saling melarutkan. Emulsi terbentuk karena adanya pengaruh suatu zat pengemulsi (*emulgator*). Contoh

emulgator adalah sabun. Jika campuran minyak dan air dikocok, maka diperoleh campuran yang akan memisah jika dibiarkan. Akan tetapi, jika sebelum dikocok ditambahkan sabun, maka diperoleh cairan yang stabil yang kita sebut emulsi. Contoh lainnya adalah kasein dalam susu (Gambar 9.2).

d. Sol

Sistem koloid dari partikel padat yang terdispersi dalam zat cair disebut sol. Koloid jenis ini dapat kita temukan dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam industri. Contoh sol: air sungai (sol dari lempung dalam air) dan cat.



Sumber: C/D Image
Gambar 9.2 Susu merupakan salah satu contoh emulsi

e. Gel (Emulsi Padat)

Koloid yang setengah kaku (antara padat dan cair) disebut gel. Gel dapat terbentuk dari suatu sol yang zat terdispersinya mengadsorpsi medium pendispersinya sehingga dihasilkan koloid yang agak padat. Contoh gel: agar-agar, gelatin, gel sabun, dan gel silika.

3. Koloid dalam Industri

Dalam bidang industri kimia, koloid banyak dimanfaatkan dalam berbagai produk antara lain biskuit, keju, mentega, *hair spray*, cat, tinta, keramik, sabun, semen, karet, obat-obatan, kosmetika, insektisida, plastik, dan tekstil. Koloid banyak digunakan karena koloid merupakan satu-satunya cara untuk menyajikan suatu zat-zat yang tidak saling melarutkan secara homogen dan stabil (secara makroskopis). Cat, sebagai contoh, merupakan zat warna yang sebenarnya tidak larut dalam air, tetapi dengan menggunakan sistem koloid dapat dibuat suatu campuran yang homogen (merata) dan stabil.

B. Sifat-sifat Koloid

Bagaimana cara mengenali suatu sistem koloid? Pada umumnya koloid berwujud keruh, tetapi tidak selalu seperti itu. Beberapa koloid tampak bening dan sukar dibedakan dengan larutan sejati. Misalnya sol As_2S_3 akan sukar dibedakan dengan larutan K_2CrO_4 atau sol $\text{Fe}(\text{OH})_3$ akan sukar dibedakan dengan larutan I_2 .

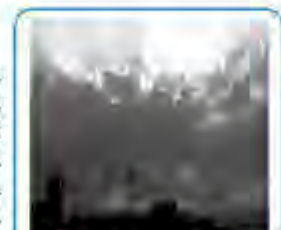
1. Efek Tyndall

Salah satu cara yang termudah untuk mengenali koloid adalah dengan menjatuhkan seberkas cahaya kepada obyek. Larutan sejati akan meneruskan cahaya, sedangkan koloid akan menghamburkan cahaya. Sebagai contoh susu akan menghamburkan cahaya, sedangkan larutan K_2CrO_4 akan meneruskan cahaya (Gambar 9.3). Cahaya matahari yang masuk rumah melewati suatu celah akan terlihat jelas. Hal itu dikarenakan partikel debu yang berukuran koloid akan menghamburkan sinar yang datang. Peristiwa tersebut sering disebut *efek Tyndall*.



Sumber: www.bymn.org
Gambar 9.3 Susu akan menghamburkan cahaya, sedangkan larutan K_2CrO_4 akan meneruskan cahaya

Efek Tyndall juga dapat menerangkan mengapa langit pada siang hari berwarna biru, sedangkan pada saat matahari terbenam, langit di ufuk barat berwarna jingga atau merah. Hal itu disebabkan oleh penghamburan cahaya matahari oleh partikel koloid di angkasa dan tidak semua frekuensi dari sinar matahari dihamburkan dengan intensitas yang sama (Gambar 9.4).



Sumber: www.digimixerid.co
Gambar 9.4 Cahaya matahari yang dihamburkan debu di angkasa

Oleh karena intensitas cahaya yang dihamburkan berbanding lurus dengan frekuensi, maka ketika matahari melintas di atas kita frekuensi yang paling tinggilah yang banyak sampai ke mata kita sehingga kita melihat langit berwarna biru. Ketika matahari terbenam, hamburan frekuensi rendah lebih banyak sehingga kita melihat langit berwarna jingga atau merah.

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering mengamati efek Tyndall ini, antara lain:

- sorot lampu mobil pada malam yang berkabut,
- sorot lampu proyektor dalam gedung bioskop yang berasap,
- berkas sinar matahari melalui celah daun pohon pada pagi hari yang berkabut.

2. Gerak Brown

Mengapa partikel koloid tersebar merata dalam medium pendispersinya dan tidak memisah meskipun ditinggalkan? Hal itu disebabkan oleh adanya gerak terus-menerus secara acak dari partikel koloid yang hanya bisa diamati dengan mikroskop ultra. Gerakan acak

(zig-zag) dari partikel koloid disebut gerak Brown (Gambar 9.5), sesuai dengan nama penemunya yaitu seorang ahli biologi **Robert Brown** (1773 – 1858).

Gerak Brown menunjukkan kebenaran teori kinetik molekul yang menyatakan bahwa molekul-molekul dalam zat cair selalu bergerak. Tumbukan molekul-molekul medium pendispersi terhadap koloid yang terjadi pada gerak Brown bersifat acak, tetapi gerak Brown dapat menstabilkan koloid. Gerak Brown semakin cepat dan menghasilkan tumbukan yang lebih kuat jika suhu semakin besar, karena energi kinetik molekul medium meningkat.



Gambar 9.5 Gerakan tidak teratur partikel koloid (gerak Brown)

3. Muatan Koloid dan Elektroforesis

Dengan memasukkan elektrode yang bermuatan listrik pada suatu sistem koloid, akan menunjukkan bahwa koloid memiliki muatan. Partikel koloid yang bermuatan positif akan menuju katode dan partikel koloid yang bermuatan negatif akan menuju anode. Gerakan partikel koloid di bawah pengaruh medan listrik disebut *elektroforesis*.

Pada pencampuran koloid $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang berwarna merah dengan As_2S_3 yang berwarna kuning. Dengan memasukkan elektrode yang bermuatan listrik pada campuran tersebut, dapat diamati pergerakan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ menuju katode, yang menyebabkan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ bermuatan negatif. As_2S_3 mengumpul di anode dan menyebabkan As_2S_3 bermuatan positif.

4. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses penyerapan permukaan. Oleh karena partikel koloid mempunyai permukaan yang sangat luas, maka sistem koloid dapat mengadsorpsi. Partikel koloid dari $\text{Fe}(\text{OH})_3$ bermuatan positif dalam air, karena mengadsorpsi ion hidrogen, H^+ . Partikel As_2S_3 bermuatan negatif karena mengadsorpsi ion negatif.

Adanya pertemuan ion sejenis menyebabkan terjadinya proses tolak-menolak partikel-partikel koloid. Karena itu, muatan koloid juga merupakan faktor yang menstabilkan koloid. Endapan terjadi jika partikel koloid saling bertumbukan dan kemudian bersatu, maka lama-kelamaan dapat terbentuk partikel yang cukup besar.

Sifat adsorpsi bisa saja terjadi di sekeliling kita, hal ini dapat dijumpai dalam peristiwa-peristiwa sebagai berikut.

- Pada proses pemurnian gula pasir, gula yang masih kotor dilarutkan dalam air panas lalu dialirkan melewati sistem koloid yaitu tanah *diatom*. Akibatnya, kotoran akan teradsorpsi sehingga didapatkan gula yang putih bersih.
- Pada pencelupan serat wol, kapas yang akan diwarnai dicelupkan dalam larutan aluminium sulfat dan larutan basa seperti natrium karbonat. $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang bersifat koloid akan melekat pada serat dan menyerap zat warna tersebut.
- Deodoran dan antiperspiran (zat antikeringat) dapat menghilangkan bau badan. Antiperspiran mengandung senyawa aluminium seperti aluminium klorohidrat, $\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, yang dapat memperkecil pori keringat. Deodoran mengandung senyawa peroksida, parfum, dan zat antiseptik yang dapat menghentikan aktivitas bakteri sehingga dapat menghilangkan bau tidak sedap.
- Tanah mampu mengadsorpsi kuman yang berbahaya.

5. Koagulasi

Sesuai dengan pembahasan di depan, dinyatakan bahwa koloid distabilkan oleh muatannya. Dispersi koloid biasanya mengadsorpsi ion sejenis. Oleh karena itu diperlukan sejumlah elektrolit untuk menstabilkan koloid. Apabila larutan elektrolit berlebihan, maka akan terjadi penggumpalan partikel, peristiwa ini disebut *koagulasi*. Proses koagulasi partikel koloid dapat terjadi melalui cara mekanik dan cara kimia. Cara mekanik dapat dilakukan dengan pemanasan, pendinginan, pengadukan dan pengubahan tekanan, sedangkan cara kimia dapat dilakukan dengan cara penambahan zat kimia. Dalam kehidupan sehari-hari peristiwa koagulasi partikel koloid yang bisa ditemukan misalnya:

- Penambahan asam format pada lateks yang menyebabkan terjadinya penggumpalan partikel karet dalam lateks pada pengolahan karet dari bahan mentahnya (lateks), sehingga karet dapat dipisahkan dari lateksnya.
- Tanah liat dalam air sungai yang juga merupakan koloid, mengalami proses koagulasi saat bercampur dengan elektrolit dalam air laut sehingga membentuk delta di muara sungai.

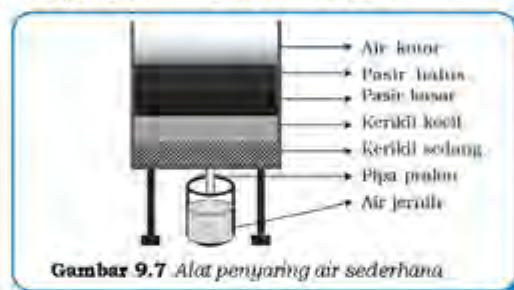


Sumber: *osam photo/f*

Gambar 9.6 Delta sungai Mahakam terbentuk akibat koagulasi koloid tanah liat

- c. Saat bagian dari tubuh kita mengalami luka, maka ion Fe^{3+} atau Al^{3+} segera menetralkan partikel albuminoid yang dikandung darah, sehingga terjadi penggumpalan yang menutup luka.
- d. Koagulasi pada proses pengolahan air bersih. Selain dengan menggunakan cara koagulasi, pada proses ini juga dilakukan dengan cara adsorpsi. Selain tawas (aluminium sulfat), bahan lain yang juga digunakan dalam proses pengolahan air bersih ini adalah pasir, kapur tohor, klorin, dan karbon aktif. *Tawas* berfungsi untuk mempermudah proses penyaringan dengan menggumpalkan partikel koloid serta mengadsorpsi zat pencemar dan zat warna dengan membentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$. *Pasir* berfungsi sebagai penyaring, klorin berfungsi sebagai disinfektan (membasmi hama), sedangkan *kapur tohor* digunakan untuk menaikkan pH, yaitu untuk menetralkan keasaman yang terjadi akibat penggunaan tawas. *Karbon aktif* digunakan jika tingkat kekeruhan air yang diproses terlalu tinggi.

Secara sederhana, dapat dibuat sebuah alat penyaring sederhana seperti Gambar 9.7 di bawah ini.



Gambar 9.7 Alat penyaring air sederhana

Lakukan kegiatan berikut untuk mengembangkan **wawasan produktivitas** kalian!

Kegiatan 9.1

Pengolahan Air Bersih

Tujuan:

Menjernihkan air dengan menambahkan koagulan.

Alat:

1. Ember plastik
2. Gelas Kimia

Bahan:

- | | | |
|----------------|------------|----------|
| 1. Tawas | 4. Ijuk | 7. Arang |
| 2. Kaporit | 5. Pasir | |
| 3. Kapur tohor | 6. Kerikil | |

Cara Kerja:

1. Ambil sebuah ember plastik dan buat saluran di bawahnya.
2. Susunlah alat-alat seperti pada gambar 9.7 di atas.
3. Tuangkan air bersih kurang lebih 5 L ke dalam alat yang baru dirakit tadi.
4. Siapkan air sungai (air kotor) dalam sebuah ember lain. Ukur pH air tersebut. Tambahkan 500 mg tawas, aduk selama 3 menit. Diamkan air yang sudah dicampur dengan tawas tersebut selama 15 menit sampai koagulan mengendap.
5. Tuangkan secara perlahan-lahan air dari langkah 4 ke dalam ember penyaring.
6. Tambahkan kapur tohor sebanyak 300 mg ke dalam air bersih dari langkah 5 sehingga pH air menjadi 7.
7. Tambahkan 50 mL kaporit.

Hasil Pengamatan:

No.	Indikator	Pengamatan
1.	pH air kotor	.....
2.	pH air penyaringan	.....
3.	pH air setelah penambahan kapur	.....

Pertanyaan dan Tugas:

1. Apakah setelah penambahan tawas pada air kotor terjadi pengendapan partikel-partikel kotoran?
2. Buat laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas!

6. Koloid Pelindung

Koloid yang memberikan efek kestabilan disebut koloid pelindung. Koloid pelindung melindungi muatan partikel koloid itu dengan membentuk lapisan di sekeliling partikel. Koloid pelindung pada suatu emulsi disebut *emulgator*. Emulgator merupakan senyawa organik yang mengandung kombinasi gugus polar dan nonpolar sehingga ia mampu mengikat zat polar (air) dan nonpolar (minyak).

Salah satu contoh emulgator adalah sabun (garam karboksilat). Molekul sabun terdiri dari "ekor" alkil yang nonpolar (larut dalam minyak) dan "kepala" ion karboksilat yang polar (larut dalam air). Ekor nonpolar sabun menempel pada kotoran, sedangkan kepalanya menempel pada air. Akibatnya tegangan permukaan air berkurang, sehingga air jauh lebih mudah menarik kotoran. Prinsip inilah yang dimiliki oleh sabun dan detergen dalam proses mandi atau mencuci pakaian.



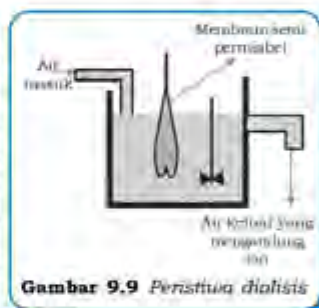
Gambar 9.8 Prinsip kerja sabun mengangkat kotoran dari serat kain

Contoh lain penggunaan koloid pelindung:

- Gelatin pada es krim untuk mencegah pengkristalan es.
- Cat atau tinta menggunakan koloid pelindung agar awet.

7. Dialisis

Dialisis dilakukan untuk menghilangkan ion-ion pengganggu kestabilan koloid pada proses pembentukan koloid. Koloid dimasukkan ke dalam suatu kantong koloid yang terbuat dari membran semipermeabel (membran yang dapat dilewati oleh partikel-partikel berukuran kecil), kemudian dimasukkan dalam suatu bejana berisi air mengalir. Dengan demikian, ion-ion keluar dari kantong dan hanyut dalam air.



Gambar 9.9 Prinsip dialisis

8. Koloid Liofil dan Koloid Liofob

Berdasarkan afinitas (gaya gabung atau tarik-menarik) fase terdispersi terhadap medium pendispersinya, koloid dibedakan menjadi 2, yaitu:

a. Koloid Liofil

Koloid liofil merupakan koloid yang fase terdispersinya mempunyai afinitas yang besar atau mudah menarik medium pendispersinya. Liofil artinya suka pada cairan (bahasa Yunani; *lio* = cairan; *philia* = senang). Jika medium pendispersi yang digunakan adalah air, maka koloid ini merupakan sol dan disebut koloid hidrofil. Sol hidrofil tidak akan menggumpal pada penambahan sedikit elektrolit.

Koloid liofil yang fase terdispersinya banyak menyerap medium pendispersinya sehingga menjadi kental dan hampir padat disebut *gel*. Gel dapat dibuat dari sel hidrofil dengan jalan menguapkan medium pendispersinya. Apabila zat padat tersebut dicampurkan kembali dengan air, maka dapat membentuk kembali sol hidrofil (sol hidrofil bersifat reversibel). Beberapa contoh koloid hidrofil adalah kanji, protein, dan agar-agar.

b. Koloid Liofob

Koloid liofob adalah koloid yang fase terdispersinya mempunyai afinitas yang kecil atau menolak medium pendispersinya. Liofob artinya takut cairan (*phobia* = takut). Jika medium pendispersinya air, maka koloid merupakan sol yang disebut sol hidrofob. Dengan menambahkan sedikit elektrolit, sol hidrofob akan mengalami penggumpalan. Apabila medium pendispersi sol hidrofob diuapkan atau digumpalkan sehingga terpisah dengan fase terdispersinya, tidak akan terbentuk sol hidrofob lagi meskipun ditambah air sebagai medium pendispersi (sol hidrofob bersifat irreversibel). Contoh dari sol hidrofob adalah sol sulfida dan sol logam. Tabel 9.3 memberikan perbandingan antara sol hidrofob dan sol hidrofil.

Tabel 9.3 Perbandingan Sol Hidrofil dan Sol Hidrofob

No.	Sol Hidrofil	Sol Hidrofob
1.	Mengadsorbsi medium pendispersi	Tidak mengadsorbsi medium pendispersi
2.	Tidak mudah digumpalkan dengan penambahan elektrolit	Mudah menggumpal dengan penambahan elektrolit
3.	Fase terdispersi mempunyai afinitas yang besar terhadap mediumnya	Fase terdispersi mempunyai afinitas kecil terhadap mediumnya
4.	Bersifat reversibel	Bersifat irreversibel
5.	Efek Tyndall lemah	Efek Tyndall jelas

C. Pembuatan Sistem Koloid

Sistem koloid dapat dibuat dengan cara mengelompokkan (*agregasi*) partikel larutan sejati atau menghaluskan bahan dalam bentuk kasar kemudian diaduk dengan medium pendispersi, karena ukuran partikel

koloid terletak antara partikel larutan sejati dan suspensi. Proses pertama disebut cara *kondensasi*, sedangkan proses kedua disebut *dispersi*.



1. Cara Kondensasi

Cara kondensasi merupakan suatu cara pembuatan sistem koloid dengan menggumpalkan partikel larutan sejati, ion, atau molekul, menjadi partikel berukuran koloid.

Cara fisis yang dapat dilakukan untuk mengkondensasikan partikel adalah sebagai berikut.

a. Pendinginan

Proses pendinginan akan menggumpalkan partikel larutan menjadi suatu koloid, karena kelarutan suatu zat pada umumnya berbanding lurus dengan suhu.

b. Penggantian Pelarut

Meskipun dalam jumlah yang sedikit, belerang melarut dalam alkohol, tetapi belerang tidak larut dalam air. Dengan menuangkan larutan jenuh belerang dalam alkohol ke dalam air, belerang akan menggumpal menjadi partikel koloid, kemudian alkohol dipisahkan dengan dialisis, maka terbentuklah sol belerang.

c. Pengembunan Uap

Dengan cara mengalirkan uap air raksa melalui air dingin, maka akan terbentuk sol raksa dengan penstabil digunakan amonium sitrat.

d. Reaksi Kimia

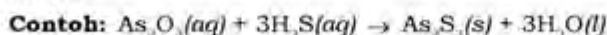
Reaksi kimia merupakan salah satu cara kondensasi yang lain, sebagai contoh:

Info Kimia

Virgin Coconut Oil (VCO) merupakan minyak yang dibuat dari santan kelapa (emulsi). VCO bermanfaat sebagai antivirus, obat kulit, obat diabetes, dan lain-lain. VCO dapat dibuat dengan berbagai cara, antara lain pengasaman dan pemanasan. Cara pengasaman dilakukan dengan menambahkan asam pada santan, misalnya asam cuka dan asam sitrat sampai pH 4,5. Pada pH tersebut protein akan menggumpal sehingga daya emulgator protein hilang dan terjadilah pemisahan minyak dan air. Demikian juga pemanasan akan menyebabkan penggumpalan protein. Coba temukan produk industri lain yang berhubungan dengan sifat koloid yang berasal dari bahan-bahan alam di sekitar kita.

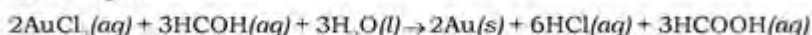
1) Reaksi Pengendapan (Dekomposisi Rangkap)

Dua buah larutan encer yang masing-masing mengandung elektrolit dicampurkan, maka dihasilkan endapan yang berukuran koloid.



2) Reaksi Reduksi Oksidasi

Sol logam seperti sol emas dapat diperoleh dengan mereduksi larutan garamnya dengan menggunakan reduktor formaldehid. Reaksinya:



3) Reaksi Hidrolisis

Cara hidrolisis dipakai untuk logam-logam seperti Al, Fe, dan Cr karena basa logam tersebut berbentuk koloid. Contoh sol besi(III) hidroksida dibuat dengan cara menambahkan larutan besi(III) klorida pada air panas. Reaksinya:



Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, **kreativitas**, mengembangkan **kecakapan sosial**, dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 9.2

Pembuatan Sol $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Tujuan:

Membuat sol $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dari larutan FeCl_3 jenuh

Alat:

1. Gelas kimia 100 mL
2. Pengaduk kaca

Bahan:

1. Air suling
2. Larutan FeCl_3

Cara Kerja:

1. Masukkan 50 mL air ke dalam gelas kimia berukuran 100 mL.
2. Panaskan gelas kimia tersebut hingga air di dalamnya mendidih.
3. Tambahkan 25 tetes FeCl_3 jenuh kemudian diaduk secara perlahan dan pemanasan terus dilakukan hingga larutan berwarna coklat kemerahan.
4. Amati dan catatlah peristiwa yang terjadi.
5. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.

Hasil Pengamatan:

No.	Tahap Pembuatan	Pengamatan
1.	1	.....
2.	2	.....
3.	3	.....
4.	4	.....
5.	5	.....

Pertanyaan dan Tugas:

1. Apa yang terjadi jika larutan diberi cahaya senter? Jelaskan!
2. Buat laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian.

2. Cara Dispersi

Cara dispersi merupakan cara pembuatan koloid dengan menghaluskan partikel suspensi menjadi partikel koloid. Beberapa cara dispersi adalah sebagai berikut.

a. Cara Mekanik

Dengan cara ini partikel kasar dipecah sampai halus, dengan menggunakan alat penggiling koloid, baru didispersikan ke dalam suatu medium pendispersi.

Contoh pembuatan sistem koloid dengan cara ini adalah pada pembuatan sol belerang. Mula-mula belerang dihaluskan bersama-sama dengan suatu zat inert (misalnya gula pasir) dengan mortar, baru didispersikan ke dalam air, terbentuklah sistem koloid.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan**, **etos kerja**, dan mengembangkan **kecakapan sosial** kalian!

Kegiatan 9.3

Pembuatan Sol Belerang dan Sol Agar-Agar

Tujuan:

Membuat sol belerang dan agar-agar dengan cara dispersi.

Alat:

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Timbangan analitik | 6. Spatula |
| 2. Lumpang dan alunya | 7. Tabung reaksi |
| 3. Gelas kimia | 8. Penjepit tabung reaksi |
| 4. Pembakar Bunsen | 9. Pipet tetes |
| 5. Kaki tiga dan kasa | |

Bahan:

- | | |
|--------------------|---------------|
| 1. Serbuk belerang | 3. Agar-agar |
| 2. Gula | 4. Air suling |

Cara Kerja:

1. Pembuatan sol belerang
 - a. Campurkan satu sendok teh gula dan satu sendok teh serbuk belerang.
 - b. Geruslah sampai halus.
 - c. Ambil satu sendok campuran itu dan campurkan dengan satu sendok teh gula, kemudian gerus sampai halus.
 - d. Lanjutkan pekerjaan itu hingga empat kali.
 - e. Tuangkan campuran yang terakhir ke dalam gelas kimia yang berisi 50 mL air.
 - f. Aduk campuran itu dan amati peristiwa yang terjadi.
 - g. Sinari campuran tersebut dengan lampu senter, amati dan catat apa yang terjadi.
2. Pembuatan sol agar-agar
 - a. Masukkan agar-agar sebanyak 1 - 3 g ke dalam tabung reaksi yang telah berisi air kira-kira sepertiga atau setengah tabung reaksi.
 - b. Panasi dan aduk dengan spatula supaya agar-agar melarut.
 - c. Dinginkan, amati dan catat peristiwa yang terjadi.
3. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok!

Hasil Pengamatan:

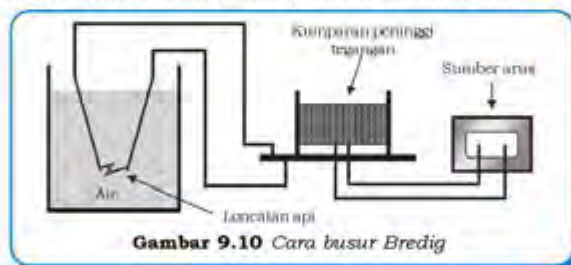
Tahap	Hasil Pengamatan Pembuatan	
	Sol Belerang	Sol Agar-Agar
1.
2.
3.
4.
5.

Pertanyaan dan Tugas:

1. Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan kalian!
2. Buatlah laporan hasil pengamatan dan presentasikan di depan kelas! Diskusikan dengan teman kalian.

b. Cara Busur Bredig

Cara ini digunakan untuk membuat sol-sol logam. Dua kawat logam yang berfungsi sebagai elektrode dicelupkan ke dalam air, kemudian ujung kawat diberikan loncatan listrik. Sebagian logam akan mendebu ke dalam air membentuk partikel koloid. Cara kerja busur bredig dapat dilihat pada gambar berikut ini.

**c. Cara Peptisasi**

Cara peptisasi merupakan cara pembuatan sistem koloid dengan memecah partikel besar dengan menambahkan suatu elektrolit yang mengandung ion sejenis atau dengan bantuan zat pemecah (pemeptisasi).

Contoh:

- 1) Koloid $\text{Al}(\text{OH})_3$ dibuat dengan cara menambahkan asam klorida encer (sedikit) pada endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang baru dibuat.
- 2) Koloid besi(III) hidroksida dapat dibuat dengan menambahkan larutan besi(III) klorida encer pada endapan besi(III) hidroksida.

Teka-teki Kimia**Mendatar**

1. Campuran kasar
3. Penggumpalan partikel koloid
5. Cara pembuatan sistem koloid
8. Gerak partikel koloid
10. Koloid setengah kaku
11. Untuk menjernihkan air
12. Gerak partikel koloid dalam medan listrik
13. Contoh sol

Menurun

2. Zat cair terdispersi dalam zat cair lain
4. Penyerapan permukaan
6. Emulgator pada susu
7. Partikel padat atau cair terdispersi dalam gas
9. Karbon aktif untuk mengadsorpsi gas atau zat racun dalam usus

Rangkuman

1. Koloid mempunyai ukuran di antara larutan dan suspensi yaitu 10^{-7} – 10^{-5} cm.
2. Jenis koloid berdasarkan pada fase terdispersi dan medium pendispersinya di antaranya buih, buih padat, aerosol cair, emulsi, emulsi padat, aerosol padat, sol, dan sol padat.
3. Sifat koloid yang menghamburkan sinar yang datang disebut efek Tyndall.
4. Gerakan acak (zig-zag) dari partikel koloid disebut gerak Brown.
5. Gerakan partikel koloid di bawah pengaruh medan listrik disebut elektroforesis.
6. Sistem koloid bersifat dapat mengadsorpsi.
7. Partikel koloid dapat mengalami koagulasi (penggumpalan) dengan cara mekanik dan kimia.
8. Koloid pelindung melindungi muatan partikel koloid dengan membentuk lapisan di sekeliling partikel.
9. Dialisis merupakan cara untuk menghilangkan ion-ion pengganggu kestabilan koloid pada proses pembentukan koloid.
10. Koloid berdasarkan afinitas fase terdispersi terhadap medium pendispersinya dibedakan menjadi koloid liofil dan koloid liofob.
11. Cara kondensasi merupakan suatu cara pembuatan sistem koloid dengan menggumpalkan partikel larutan sejati, ion, atau molekul menjadi partikel berukuran koloid.
12. Cara dispersi merupakan cara pembuatan koloid dengan menghaluskan partikel suspensi menjadi partikel koloid.

Uji Kompetensi

Kerjakan pada buku tugas kalian!

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Ciri sistem koloid adalah sebagai berikut, **kecuali** . . .
A. tidak dapat disaring
B. homogen
C. stabil (tidak memisah)
D. menghamburkan cahaya
E. terdiri atas 2 fase
2. Zat-zat di bawah ini yang **bukan** merupakan contoh dari sistem koloid adalah . . .
A. susu
B. santan
C. asap
D. protoplasma
E. asam klorida
3. Dispersi zat cair atau zat padat dalam gas disebut . . .
A. sol
B. emulsi
C. buih
D. aerosol
E. suspensi
4. Sistem koloid yang dibentuk dengan mendispersikan partikel zat padat ke dalam zat cair disebut . . .
A. gel
B. buih
C. emulsi
D. sol
E. aerosol
5. Sistem koloid di bawah ini yang medium pendispersinya padat adalah . . .
A. asap
B. kabut
C. batu apung
D. susu
E. lem kanji
6. Jika udara ditiupkan ke dalam larutan sabun akan timbul buih. Fase terdispersi dan fase pendispersi pada buih berturut-turut adalah . . .
A. cair, gas
B. cair, cair
C. gas, cair
D. gas, padat
E. cair, padat
7. Penghamburan berkas sinar di dalam sistem koloid disebut . . .
A. gerak Brown
B. efek Tyndall
C. koagulasi
D. elektroforesis
E. osmosis

8. Efek Tyndall terjadi karena partikel koloid
 A. memancarkan cahaya
 B. menghamburkan cahaya
 C. menyerap cahaya
 D. mempunyai gerak Brown
 E. meneruskan cahaya
9. As_2S_3 adalah koloid hidrofob yang bermuatan negatif. Dalam larutan yang paling baik untuk mengkoagulasikan koloid ini adalah
 A. kalium fosfat
 B. besi(III) klorida
 C. magnesium sulfat
 D. besi(II) sulfat
 E. barium nitrat
10. Bila minyak kelapa dicampurkan dengan air akan terjadi dua lapisan yang tidak saling melarut. Suatu emulsi akan terjadi bila larutan ini dikocok dan ditambahkan
 A. air panas
 B. air dingin
 C. air sabun
 D. minyak tanah
 E. larutan garam
11. Cara pembuatan koloid dari molekul-molekul atau ion-ion menjadi partikel koloid disebut
 A. cara kondensasi
 B. cara koagulasi
 C. cara suspensi
 D. cara koagulasi
 E. cara ionisasi
12. Zat di bawah ini merupakan koloid hidrofil, **kecuali**
 A. lem karet/ban
 B. tinta
 C. lem untuk kayu
 D. lem untuk kanji
 E. larutan gelatin
13. Yang termasuk koloid hidrofob adalah
 A. amilum dalam air
 B. lemak dalam air
 C. protein dalam air
 D. agar-agar dalam air
 E. karbon dalam air
14. Peristiwa pergerakan partikel koloid di medan listrik (ke kutub-kutub elektrode) disebut
 A. elektrodialisis
 B. elektroforesis
 C. elektroanalisis
 D. elektroendosma
 E. gerak Brown
15. Larutan berikut, dalam air panas, akan memperlihatkan efek Tyndall adalah
 A. $NaCl$ 0,1 M
 B. $CuSO_4$ 0,1 M
 C. $AgNO_3$ 0,1 M
 D. $FeCl_3$ 0,1 M
 E. $KMnO_4$ 0,1 M

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Apakah perbedaan antara suspensi, sistem koloid, dan larutan?
2. Apa yang dimaksud dengan koloid liofil dan koloid liofob? Berikan contohnya!
3. Apa perbedaan pembuatan koloid dengan cara dispersi dan kondensasi?
4. Jelaskan cara kerja sabun sebagai pembersih!
5. Jelaskan bagaimana pembentukan sol belerang dengan cara mekanik!

Latihan Semester II

Kerjakan pada buku tugas kalian!

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

- Menurut teori Bronsted-Lowry, reaksi H_2O yang bertindak sebagai basa adalah . . .
 - $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HSO}_4^-$
 - $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$
 - $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$
 - $\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$
 - $\text{H}_2\text{O} + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}_2\text{SO}_4$
- Air susu merupakan sistem dispersi . . .
 - zat padat dalam medium pendispersi cair
 - zat cair dalam medium pendispersi cair
 - zat cair dalam medium pendispersi gas
 - zat padat dalam medium pendispersi gas
 - gas dalam medium pendispersi cair
- Pada suatu suhu tertentu larutan jenuh $\text{Mg}(\text{OH})_2$ mempunyai pH sama dengan 10. Hasil kali kelarutan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ adalah. . .
 - 1×10^{-6}
 - 5×10^{-9}
 - 1×10^{-12}
 - 4×10^{-12}
 - 5×10^{-13}
- Suatu obat baru yang diperoleh dari biji tanaman ternyata berupa basa organik yang lemah. Bila 0,1 M larutan obat tersebut dalam air mempunyai pH = 11, maka K_b obat tersebut adalah . . .
 - 10^{-2}
 - 10^{-3}
 - 10^{-4}
 - 10^{-5}
 - 10^{-6}
- Campuran larutan berikut ini yang membentuk larutan penyangga adalah . . .
 - 50 mL CH_3COOH 0,2 M dan 50 mL NaOH 0,1 M
 - 50 mL CH_3COOH 0,2 M dan 100 mL NaOH 0,1 M
 - 50 mL HCl 0,2 M dan 100 mL $\text{NH}_3(\text{aq})$ 0,1 M
 - 50 mL HCl 0,2 M dan 50 mL $\text{NH}_3(\text{aq})$ 0,1 M
 - 50 mL HCl 0,2 M dan 50 mL NaOH 0,1 M

6. Untuk membuat larutan penyangga yang mempunyai pH = 4, ke dalam 100 mL larutan CH_3COOH 0,5 M ($K_a = 10^{-5}$) harus ditambah larutan CH_3COONa 0,5 M sebanyak
 A. 100 mL
 B. 50 mL
 C. 10 mL
 D. 5 mL
 E. 1 mL
7. Suatu larutan penyangga terdiri dari campuran CH_3COOH 0,01 M ($K_a = 10^{-5}$) dan CH_3COONa 0,1 M mempunyai pH sebesar 6. Perbandingan volume $\text{CH}_3\text{COOH} : \text{CH}_3\text{COONa}$ adalah
 A. 1 : 1
 B. 1 : 10
 C. 10 : 1
 D. 1 : 100
 E. 100 : 1
8. Pasangan berikut yang merupakan pasangan asam-basa konjugasi, **kecuali**
 A. NH_4^+ dan NH_3
 B. HCO_3^- dan CO_3^{2-}
 C. H_3O^+ dan OH^-
 D. H_2O dan OH^-
 E. CH_3COOH dan CH_3COO^-
9. Sebanyak 0,1 mol NH_4OH dicampurkan dengan 0,05 mol NH_4Cl akan menghasilkan pH campuran ($K_b = 10^{-5}$)
 A. 5
 B. 9
 C. $6 - \log 2$
 D. $9 + \log 3$
 E. $12 + \log 6$
10. Beberapa garam:
 (1) NH_4Cl
 (2) CH_3COONa
 (3) NH_4CN
 (4) K_2S
 Garam yang dapat terhidrolisis sebagian dan bersifat basa adalah
 A. 1 dan 2
 B. 1 dan 3
 C. 2 dan 3
 D. 3 dan 4
 E. 2 dan 4
11. Jika K_a $\text{CH}_3\text{COOH} = 10^{-5}$, maka pH larutan CH_3COONa 0,9 M adalah
 A. 5
 B. 9
 C. $5 - \log 2$
 D. $9 + \log 2$
 E. $8 + \log 7$
12. Sepuluh mL larutan K-asetat ($M_r = 98$) mempunyai pH = 9. Jika K_a $\text{CH}_3\text{COOH} = 2 \times 10^{-5}$, CH_3COOK yang terlarut dalam 500 mL larutannya adalah (A, K = 39, C = 12, H = 1, O = 16)

- A. 98 gram
B. 78,4 gram
C. 39,2 gram
- D. 9,8 gram
E. 7,8 gram
13. Besarnya pH larutan asam metanoat 0,01 M adalah 5. Maka harga tetapan asam metanoat adalah . . .
A. 1×10^{-5}
B. 1×10^{-6}
C. 1×10^{-7}
D. 1×10^{-8}
E. 2×10^{-8}
14. Contoh koloid yang medium pendispersinya padat dan fase terdispersinya cair adalah . . .
A. asap
B. awan
C. agar-agar
D. susu
E. batu apung
15. Peristiwa berikut:
(1) Pembentukan delta pada muara sungai
(2) Pemurnian gula pasir (kotor)
(3) Penyembuhan sakit perut oleh norit
(4) Penjernihan air
Yang merupakan contoh peristiwa koagulasi koloid, **kecuali** . . .
A. 1 dan 2
B. 1 dan 3
C. 1 dan 4
D. 2 dan 3
E. 2 dan 4

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Bagaimana membedakan asam kuat dan asam lemah berdasarkan daya hantar listriknya, harga K_a -nya, dan reaksi ionisasinya?
2. Pada titrasi penetralan diperoleh hasil sebagai berikut.

No.	Volume HCl	Volume NaOH 0,1 N
1.	10 mL	12 mL
2.	10 mL	9 mL
3.	10 mL	10 mL
4.	10 mL	11 mL
5.	10 mL	8 mL

Berapakah molaritas HCl yang diselidiki tersebut?

3. Jika 100 mL HCl 0,2 M ditambahkan ke dalam ke dalam 200 mL NH_3 0,2 M ($K_b = 10^{-5}$)
 - a. Tentukan pH masing-masing sebelum dicampuri!
 - b. Tentukan pH campuran!
4. Larutan NH_4OH 0,4 M sebanyak 200 mL dicampurkan dengan 200 mL larutan HCl 0,4 M. Kemudian ke dalam campuran ditambahkan air suling sebanyak 100 mL. Tentukan pH larutan yang terjadi! ($K_b \text{ NH}_4\text{OH} = 10^{-5}$)
5. Jika 100 mL $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 0,01 M ditambah dengan 400 mL AlCl_3 0,1 M. Apakah terbentuk endapan PbCl_2 bila diketahui $K_{sp} \text{ PbCl}_2 = 1,6 \times 10^{-2}$? Jelaskan!

Latihan Akhir Tahun

Kerjakan pada buku tugas kalian!

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

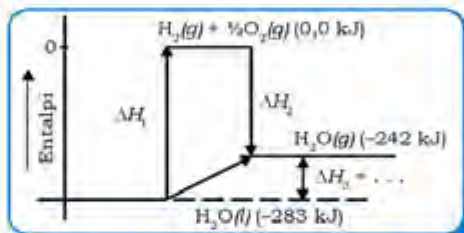
- Konfigurasi elektron yang benar untuk ${}_{24}\text{Cr}$ adalah
 A. $1s^2 2s^2 2p^2 3s^2 3p^6 4s^2 3d^4$
 B. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$
 C. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 4p^6$
 D. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^5$
 E. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 3f^1$
- Unsur tembaga, Cu dengan nomor atom 29, terletak pada golongan dan periode
 A. IA/5
 B. IIA/3
 C. IB/4
 D. VB/7
 E. VIIIA/5
- Pasangan senyawa berikut yang mempunyai ikatan hidrogen adalah
 A. HCl dengan NaOH
 B. H_2O dengan H_2S
 C. KOH dengan H_3PO_4
 D. HF dan NH_3
 E. CH_3COOH dan H_2SO_4
- Molekul SF_6 mengalami hibridisasi dan bentuk molekul
 A. sp^3d^2 , bujur sangkar
 B. sp^3d^2 , oktahedral
 C. sp^3d^2 , tetrahedral
 D. sp^3d^2 , bentuk T planar
 E. sp^3 , tetrahedral
- Pembuatan koloid berikut ini yang termasuk pembuatan koloid dengan cara kondensasi adalah
 A. menggiling serbuk belerang lalu mencampur dengan air
 B. sol emas dibuat dengan melompatkan bunga api listrik ke dalam elektrode Au dalam air
 C. mereaksikan CuSO_4 dengan Na_2S dalam air
 D. mengalirkan gas SO_2 ke dalam larutan H_2S
 E. pembuatan sol dengan memanaskan suspensi amilum
- Jika sebanyak 0,58 gram $\text{Mg}(\text{OH})_2$ dilarutkan dalam 200 mL air ($M_r \text{Mg}(\text{OH})_2 = 58$), maka $K_{sp} \text{Mg}(\text{OH})_2$ adalah
 A. 10^{-8}
 B. 10^{-2}
 C. 5×10^{-4}
 D. 5×10^{-2}
 E. 5×10^{-4}

7. Perhatikan reaksi:



Jika suhu diturunkan, yang terjadi adalah . . .

- tidak terjadi pergeseran
 - jumlah SO_2 dan O_2 bertambah
 - jumlah O_2 bertambah
 - jumlah SO_2 bertambah
 - jumlah SO_3 bertambah
8. Perhatikan diagram entalpi dari reaksi: $\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ berikut ini!



Berdasarkan data-data pada diagram tersebut, harga ΔH_3 adalah : . . .

- -41 kJ mol^{-1}
 - $+41 \text{ kJ mol}^{-1}$
 - -242 kJ mol^{-1}
 - $+525 \text{ kJ mol}^{-1}$
 - -525 kJ mol^{-1}
9. Dari reaksi: $2\text{NO}(g) + 2\text{H}_2(g) \rightarrow \text{N}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$ diperoleh data percobaan sebagai berikut.

No. Percobaan	Konsentrasi (M)		Laju Reaksi (M det^{-1})
	NO	H_2	
1.	2×10^{-3}	2×10^{-3}	4×10^{-6}
2.	4×10^{-3}	2×10^{-3}	8×10^{-6}
3.	6×10^{-3}	2×10^{-3}	12×10^{-6}
4.	4×10^{-3}	6×10^{-3}	24×10^{-6}
5.	4×10^{-3}	8×10^{-3}	32×10^{-6}

Persamaan laju reaksi tersebut adalah . . .

- $v = k [\text{NO}]^2 [\text{H}_2]$
- $v = k [\text{NO}]^2 [\text{H}_2]^2$
- $v = k [\text{NO}] [\text{H}_2]^2$
- $v = k [\text{NO}]^2 [\text{H}_2]^2$
- $v = k [\text{H}_2]^2$

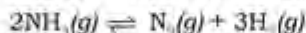
10. Beberapa campuran:

- (1) 100 mL HCl 0,1 M dengan 50 mL NaOH 0,1 M
- (2) 100 mL CH_3COOH 0,1 M dengan 50 mL CH_3COOH 0,1 M
- (3) 100 mL H_2CO_3 0,1 M dengan 100 mL NaOH 0,1 M
- (4) 100 mL CH_3COOH 0,1 M dengan 50 mL NaOH 0,1 M
- (5) 100 mL NH_4OH 0,1 M dengan 50 mL HCl 0,1 M

Campuran yang membentuk penyangga dan bersifat asam adalah

- | | |
|------|------|
| A. 1 | D. 4 |
| B. 2 | E. 5 |
| C. 3 | |

11. Dalam bejana 3 liter, 5 mol amonia terurai dengan derajat disosiasi 0,4 menurut reaksi:



Tekanan pada kesetimbangan adalah 3,5 atm. Harga K_p adalah

- | | |
|------------------|--------|
| A. $\frac{1}{6}$ | D. 1 |
| B. $\frac{1}{2}$ | E. 1,5 |
| C. $\frac{3}{4}$ | |

12. Diketahui reaksi: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{HNO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}_2^+ + \text{NO}_2^-$

Spesi yang keduanya bersifat asam menurut teori Bronsted Lowry adalah

- A. CH_3COOH dan $\text{CH}_3\text{COOH}_2^+$
- B. CH_3COOH dan NO_2^-
- C. HNO_2 dan $\text{CH}_3\text{COOH}_2^+$
- D. HNO_2 dan NO_2^-
- E. $\text{CH}_3\text{COOH}_2^+$ dan NO_2^-

13. Sebanyak 100 mL larutan HCl 0,1 M dicampurkan dengan 100 mL larutan $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 0,1 M. Maka $[\text{OH}^-]$ dalam larutan adalah

- | | |
|------------|------------|
| A. 0,010 M | D. 0,050 M |
| B. 0,020 M | E. 0,250 M |
| C. 0,025 M | |

14. Larutan 25 mL NH_4OH 0,2 M ($K_b = 10^{-6}$), dicampurkan dengan 25 mL larutan HCl 0,1 M. pH larutan yang terjadi adalah

- | | |
|--------|---------|
| A. 5,0 | D. 9,0 |
| B. 5,5 | E. 13,0 |
| C. 8,5 | |

15. Larutan jenuh dari $\text{L}(\text{OH})_3$ mempunyai pH = 10, K_{sp} dari $\text{L}(\text{OH})_3$ tersebut ialah
- A. 5×10^{-16} D. 2×10^{-10}
 B. 2×10^{-12} E. 2×10^{-8}
 C. 5×10^{-10}
16. Diketahui reaksi: $\text{A}(\text{g}) + 2\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{AB}_2(\text{g})$
 Kesetimbangan bergeser ke kanan jika
- A. suhu dinaikkan
 B. suhu diturunkan
 C. tekanan diperbesar
 D. tekanan diperkecil
 E. konsentrasi B dikurangi
17. Asam lemah HA, pHnya = 3 dan K_a HA = 1×10^{-5} .
 Konsentrasi HA adalah
- A. 0,1 M D. 0,0001 M
 B. 0,01 M E. 0,00001 M
 C. 0,001 M
18. Pembuatan sol $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dilakukan dengan cara
- A. mekanik
 B. peptisasi
 C. reaksi redoks
 D. hidrolisis
 E. dekomposisi rangkap
19. Diketahui energi ikatan dari:
- $\text{O} - \text{H} : 464 \text{ kJ}$
 $\text{O} = \text{O} : 500 \text{ kJ}$
 $\text{H} - \text{H} : 436 \text{ kJ}$
 Kalor yang diperlukan untuk menguraikan 9 gram air ($M_r = 18$) adalah
- A. 8 kJ
 B. 121 kJ
 C. 222 kJ
 D. 242 kJ
 E. 472 kJ
20. Larutan dengan pH tertinggi dipunyai oleh
- A. campuran 100 mL HCl 0,1 M + 100 mL NaOH 0,1 M
 B. campuran 100 mL HCl 0,1 M + 100 mL NH_4OH 0,1 M
 C. campuran 100 mL HCl 0,1 M + 100 mL NH_4OH 0,05 M
 D. campuran 100 mL HCl 0,1 M + 100 mL NaOH 0,05 M
 E. campuran 100 mL HCl 0,1 M + 100 mL NH_4OH 0,2 M

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Diketahui 50 mL larutan NH_4OH mempunyai $\text{pH} = 11 + \log 5$ dan tetapan ionisasinya 10^{-5}
 - a. Berapa konsentrasinya NH_4OH ?
 - b. Tentukan derajat ionisasinya!
 - c. Jika larutan ditambah air hingga volume 100 mL, berapa pH sekarang?
2. Jelaskan penggunaan dari:
 - a. sel elektroforesis,
 - b. busur Bredig!
3. Tentukan jumlah proton yang dimiliki oleh:
 - a. X yang terletak pada golongan VB periode 4,
 - b. Y yang terletak pada golongan IIIB periode 5,
 - c. Z yang terletak pada golongan IA periode 6!
4. Mana yang mempunyai titik didih lebih tinggi dan beri penjelasan!
 - a. NH_3 atau PH_3 ,
 - b. Cl_2 atau I_2 ,
 - c. n butana atau isobutana!
5. Diketahui energi ikatan:
 $\text{C} = \text{O} : 173 \text{ kkal mol}^{-1}$
 $\text{H} - \text{H} : 200,2 \text{ kkal mol}^{-1}$
 $\text{C} - \text{O} : 85 \text{ kkal mol}^{-1}$
 $\text{H} - \text{O} : 110,6 \text{ kkal mol}^{-1}$
 $\text{C} - \text{H} : 99,3 \text{ kkal mol}^{-1}$
Berapakah perubahan entalpi reaksi:
 $\text{CH}_3 - \text{CHO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$?
6. Bagaimana pengaruh suhu terhadap tumbukan pada laju reaksi? Jelaskan!
7. Suatu larutan mempunyai $\text{pH} = 3$
 - a. Jika larutan tersebut dites dengan kertas lakmus merah dan biru. Bagaimana perubahan warna kertas tersebut?
 - b. Hitung konsentrasi ion H^+ !
 - c. Berapa mL larutan 0,1 M NaOH harus ditambahkan untuk menetralkan 1 L larutan di atas?

8. Diketahui harga $K = \frac{9}{16}$. Berapa mol gas hidrogen harus direaksikan dengan 5 mol gas oksigen dalam ruang 2 liter, agar pada saat kesetimbangan berlangsung dalam ruang terdapat 6 mol uap air?
9. Kristal CH_3COONa sebanyak 5,904 gram dilarutkan ke dalam air sehingga volume larutan menjadi 100 mL. Apabila diketahui $K_w = 10^{-14}$, $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 1,8 \times 10^{-5}$ dan $M_r \text{CH}_3\text{COOH} = 82$, maka tentukan pH larutan tersebut!
10. $K_{sp} \text{Ca(OH)}_2 = 4 \times 10^{-6}$, berapa kelarutan Ca(OH)_2 dalam larutan NaOH yang pH-nya 13?

Glosarium

Adiabatik. Proses yang tidak memungkinkan adanya kalor yang keluar ke lingkungan. (51)

Adsorpsi. Proses atau kemampuan suatu bahan untuk mengonsentrasikan gas, cairan, atau zat terlarut pada permukaannya secara adhesi, akibatnya terjadi selisih konsentrasi; penyerapan. (203, 205)

Aerosol. Sistem koloid dengan gas sebagai medium pendispersi, misalnya asap (padat dalam gas) dan kabut (cair dalam gas). (200)

Alkali. Zat yang bersenyawa dengan asam yang merupakan garam, digunakan dalam pembuatan garam. (114)

Alkalosis. Peningkatan pH darah, $\text{pH} > 7,45$. (167)

Alkil. Kumpulan radikal organik dengan rumus umum $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$. (207)

Amfiprotik. Mempunyai kemampuan untuk menarik dan melepaskan proton. (138)

Anode. Kutub negatif pada baterai dan sel elektrokimia lain, dan kutub positif pada sel elektrolisis; kutub yang dituju oleh ion negatif jika rangkaian listrik tertutup. (203)

Asam. Definisi Bronsted zat yang dapat memberikan proton; definisi Louis zat yang dapat menerima pasangan elektron. (114, 137, 139)

Asam format. Asam organik tanpa warna (bersifat mengikis dan berbau tajam) yang ditemukan dalam semut merah, sengat lebah, dan serangga lainnya. (125, 204)

Asam kuat. Asam yang mengion sempurna membentuk ion-ionnya dalam air. (122)

Asam lemah. Asam yang terionisasi sebagian dalam air. (125)

Asam monoprotik. Senyawa asam yang melepaskan satu ion H^+ . (115)

Asam poliprotik. Senyawa asam yang melepaskan lebih dari satu ion H^+ . (115)

Asam sitrat. Asam organik berbentuk hablur dan berwarna putih dengan rasa masam (terdapat dalam buah-buahan seperti limau, sitrun). (114)

Asas Aufbau. Pada kondisi normal atau pada tingkat dasar, elektron akan menempati orbital yang memiliki energi terendah terlebih dahulu. (9)

Asas larangan Pauli. Dalam satu atom tidak mungkin dua elektron mempunyai keempat bilangan kuantum yang sama. (9, 10)

Asas Le Chatelier. Jika suatu faktor luar mempengaruhi kesetimbangan, maka kesetimbangan itu akan bergeser untuk mengurangi pengaruh tersebut sampai diperoleh kesetimbangan baru. (93, 95)

Asidosis. pH darah kurang dari 7,35. (167)

Aturan Hund. Dalam orbital-orbital yang setingkat, elektron-elektron akan mengisi orbital satu per satu dengan arah spin yang sama sebelum berpasangan. (9, 10)

Basa. Senyawa yang cenderung menyumbangkan sepasang elektron untuk digunakan bersama-sama; basa cenderung untuk menerima proton. (115, 137, 139)

Basa kuat. Basa yang mengion sempurna membentuk ion-ionnya dalam air. (124)

Basa lemah. Basa yang terionisasi sebagian dalam air. (128)

Basa monohidroksi. Senyawa basa yang melepaskan satu ion OH^- . (115)

Basa polihidroksi. Senyawa basa yang melepaskan lebih dari satu ion OH^- . (116)

Batu bara. Bahan tambang berwarna hitam atau kecokelatan, getas atau lunak yang terdiri atas karbon, tetapi juga hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sedikit unsur. (56)

Bilangan kuantum. Seperangkat bilangan (umumnya bulat atau kelipatan $\frac{1}{2}$) yang digunakan untuk menandai nilai khusus suatu variabel, di antara nilai-nilai diskrit yang terpilih, yang dibolehkan untuk variabel itu. (4)

Bilangan kuantum azimuntal. Bilangan kuantum yang menggambarkan bentuk orbital (4, 5, 7, 8)

Bilangan kuantum magnetik. Bilangan kuantum yang menunjukkan arah orbital dalam ruang. (4, 5, 8)

Bilangan kuantum spin. Bilangan kuantum yang menyatakan arah rotasi (perputaran) elektron mengelilingi inti. (4, 6)

Bilangan kuantum utama. Bilangan kuantum yang menyatakan kulit tempat orbital berada. (4, 7)

BOD. Singkatan dari *Biochemical Oxygen Demand*, kebutuhan oksigen biokimiawi, yaitu ukuran kimia bagi proses/daya deoksigenasi dalam suatu perairan atau air limbah. (136)

Buffer. Larutan yang pHnya tidak berubah karena penambahan sedikit asam, basa, dan pengenceran. (154, 156, 157)

Buih. Sistem koloid dari gas yang terdispersi dalam zat cair. (200)

Buret. Tabung kaca panjang berskala dan dilengkapi dengan kran untuk mengukur kecepatan tetesan/aliran cairan; alat ini digunakan untuk mengukur dengan cermat volume sejumlah cairan yang ditambahkan dalam suatu wadah misalnya dalam titrasi. (150, 151, 153)

Cara busur bredig. Pembuatan sol-sol logam seperti Ag, Au, dan Pt. Logam yang akan diubah sebagai koloid dipasang sebagai elektroda yang saling berdekatan, kemudian diberi loncatan listrik dalam medium pendispersi air dingin. (213)

Cara dispersi. Cara pembuatan koloid dengan menghaluskan partikel suspensi menjadi partikel koloid. (211)

Cara kondensasi. Pembuatan sistem koloid dengan menggumpalkan partikel larutan sejati, ion, atau molekul menjadi partikel berukuran koloid. (209)

Cara mekanik. Pembuatan koloid dengan memecah partikel kasar sampai halus dengan alat penggiling koloid dan didispersikan ke dalam medium pendispersi. (211)

Cara peptisasi. Pembuatan sistem koloid dengan memecah partikel besar dengan menambahkan elektrolit yang mengandung ion sejenis. (213)

COD. *Chemical Oxygen Demand*; jumlah oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi limbah organik. (136)

Derajat ionisasi. Perbandingan jumlah mol zat yang terionisasi dengan jumlah mol mula-mula. (98, 121)

Dialisis. Penyaringan renik dengan selaput semipermeabel sehingga partikel koloid dan molekul atau ion dapat dipisahkan. (207)

Difusi. Penyebaran atau pembauran materi (gas atau cairan) atau energi (kalor, cahaya); proses ini disebabkan oleh gerak termal molekul secara acak. (198, 199)

Dipol. Molekul yang sempurna dua muatan listrik (kutub). (28, 29, 30)

Dispersi. Penyerakan zat yang satu dalam bentuk bubuk halus dalam zat yang lain secara seragam. (209, 211)

Domain elektron. Kedudukan elektron atau daerah keberadaan elektron. (22, 23, 25, 26)

Efek Tyndall. Sifat koloid yang menghamburkan cahaya. (202, 209)

Eksoterm. Reaksi yang disertai oleh terbebasnya kalor. (41, 43, 78, 97, 102)

Elektrode. Alat atau bagian alat untuk mengalirkan arus listrik ke dalam atau ke luar dari alat, tubuh atau sel; dapat berupa sepotong kawat biasa, tetapi dapat pula rumit, seperti elektroda kalomel, bahkan dapat pula berarti tempat alat itu sendiri (sel kering). (208, 213)

Elektroforesis. Gerakan partikel-partikel melewati zat cair karena pengaruh medan listrik. (203)

Elektrolit. Bahan yang menghantar arus listrik karena terjadi perpindahan ion; bahan dapat berbentuk lelehan atau berada dalam larutan. (122, 128, 132, 183, 189, 190, 204, 209, 210, 213)

Elektrolit kuat. Bahan yang menghantar arus listrik dengan kuat karena terjadi perpindahan ion, misalnya NaCl. (122)

Elektrolit lemah. Bahan yang menghantar arus listrik dengan lemah karena terjadi perpindahan ion, misalnya asam asetat CH_3COOH . (122)

Elektron valensi. Jumlah elektron yang berada pada kulit paling luar pada atom. (15)

Elektronegativitas. Kemampuan menarik muatan negatif. (31)

Elektrostatis. Segala hal yang bersangkutan dengan muatan listrik yang tidak bergerak, misalnya bertumpuknya elektron atau medan listrik. (22, 28)

Emulgator. Zat yang berfungsi sebagai pengemulsi, contoh: protein dan sabun. (201, 206)

Emulsi. Sistem koloid cair; cairan yang apabila diperiksa di bawah mikroskop akan terlihat bahwa sebenarnya cairan terdiri atas dua fase cair. (200)

Endoterm. Bersifat menyerap kalor. (41, 43, 45, 78, 97)

Energi. Kemampuan untuk melakukan kerja. (78, 80)

Energi aktivasi. Energi minimum yang harus dimiliki oleh molekul yang turut dalam suatu reaksi agar tabrakan antarmolekul menghasilkan perubahan kimia. (76, 78, 80)

Energi ikatan. Energi yang diperlukan untuk mematahkan ikatan antara dua atom dalam sebuah molekul. (46, 54)

Energi kinetik. Bagian dari yang dimiliki oleh sistem karena gerakannya. (78, 80, 203)

Energi potensial. Bagian dari energi yang dimiliki oleh suatu sistem karena tempatnya dalam suatu medan konservatif. (3, 78)

Entalpi. Potensial termodinamika dengan definisi $H = E + PV$. (38, 40, 42, 45, 50, 51, 54, 55, 78)

Enzim. Katalis untuk reaksi biokimia, yang dihasilkan oleh sel-sel hidup; kerjanya spesifik dan aktivitasnya optimal pada pH tertentu. (82)

Gaya London. Ikatan kimia pada dua molekul karena adanya dipol sesaat dan dipol terimbas. (30, 32)

Gel. Koloid yang setengah kaku (antara padat dan cair). (201, 208)

Gerak Brown. Gerakan tidak teratur partikel koloid. (202)

Hasil kali kelarutan. K_{sp} , konstanta kesetimbangan untuk larutan elektrolit yang diperoleh dari perkalian masing-masing produk persamaan kesetimbangan yang dipangkatkan dengan koefisien reaksinya. (182, 183, 184)

Hidrogenasi. Pemberian gas H_2 dengan tekanan tinggi. (83)

Hidrolisis. Pemecahan senyawa kimia melalui penambahan air. (167, 168, 169, 171, 174, 175, 210)

Hukum Hess. Jika suatu reaksi berlangsung dalam dua tahap reaksi atau lebih, maka perubahan entalpi untuk reaksi tersebut sama dengan jumlah perubahan entalpi dari semua tahapan. (46, 51)

Hukum Kekekalan Energi. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi hanya dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk lain. (39, 45)

Ikatan hidrogen. Ikatan antara atom hidrogen dan atom yang memiliki elektronegativitas besar. (29)

Indikator asam-basa. Zat yang memberikan warna berbeda pada larutan asam dan basa. (118)

Inhibitor. Katalis yang memperlambat laju reaksi. (77)

Kalor jenis. Jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 gram zat sebesar 1°C . (48)

Kalor pembakaran. Banyaknya kalor yang digunakan untuk membakar 1 mol zat. (55)

Kalor reaksi. Banyaknya kalor yang diserap atau dilepas suatu sistem. (38, 49, 50)

Kapasitas kalor. Jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu zat sebesar 1°C . (48, 49)

Katalis. Zat yang mengubah kecepatan reaksi tanpa zatnya mengalami perubahan kimia yang permanen. (71, 76, 79, 80, 81, 82, 93, 103)

Katalis heterogen. Katalis yang sama fasenya dengan zat pereaksinya. (82)

Katalis homogen. Katalis yang berbeda fasenya dengan zat pereaksinya. (81)

Kelarutan. Jumlah maksimum zat yang dapat larut dalam sejumlah tertentu larutan/pelarut. (182, 184)

Kemolaran. Jumlah mol zat terlarut dalam satu liter larutan. (65, 122)

Kesetimbangan dinamis. Keadaan saat laju reaksi ke kanan dan ke kiri sama dan konsentrasi pereaksi dan hasil reaksi tidak berubah. (89)

Kesetimbangan heterogen. Kesetimbangan dengan semua pereaksi dan produk reaksi tidak berada dalam satu fase yang sama. (91)

Kesetimbangan homogen. Kesetimbangan dengan pereaksi dan produk reaksi berada dalam satu fase yang sama. (91)

Koagulasi. Penggumpalan koloid. (204)

Koloid. Campuran antara dua zat; yang satu disebut fase terdispersi tersebar secara seragam dalam bentuk partikel halus dalam zat lain yang disebut zat pendispersi. (198, 199, 200, 201, 203, 206, 207, 211)

Konfigurasi elektron. Perpaduan molekul yang sama atau tak sama biasanya disertai dengan pembebasan molekul air atau semacamnya (HCl , NH_3). (9, 12)

Korosif. Bahan yang menyebabkan terjadi korosi pada berbagai benda. (141)

Kurva titrasi. Grafik yang menyatakan perubahan pH pada penetesan asam dengan basa atau sebaliknya. (147)

Laju reaksi. Laju berkurangnya konsentrasi suatu pereaksi atau laju bertambahnya konsentrasi suatu produk. (64, 65, 69, 70, 73, 74, 79, 80, 82)

Larutan lewat jenuh. Keadaan suatu larutan yang konsentrasi zat terlarutnya lebih tinggi daripada konsentrasi jenuh zat terlarut itu. (187)

Larutan penyangga. Larutan asam lemah dan garamnya atau basa lemah dan garamnya, yang menghalangi perubahan konsentrasi ion H^+ yang seharusnya terjadi jika asam atau basa ditambahkan ke dalam sistem itu. (149, 154, 166)

Larutan tepat jenuh. Suatu larutan yang mengandung zat terlarut sebanyak yang diperlukan untuk mempertahankan kesetimbangan antara zat terlarut dalam larutan dan zat terlarut yang tak larut. (187)

Liofil. Menarik cairan; sifat partikel dalam sistem koloid padat dalam cair yang menarik cairan pendispersi. (207, 208)

Liofob. Menolak cairan; sifat partikel dalam sistem koloid padat dalam cair yang menolak cairan pendispersi. (207, 208)

Makroskopis. Dapat dilihat dengan mata telanjang tanpa bantuan mikroskop. (201)

Mekanika kuantum. Mekanika yang mempelajari sifat atom, molekul, dan partikel lain berdasarkan hubungan dualitas antara gelombang radiasi dan materi. (3, 4)

Momen dipol. Perkalian antara muatan dan jarak yang memisah muatan dalam suatu dipol. (28, 29, 30)

Oksidasi. Berbagai macam proses yang pada hakikatnya menaikkan valensi dari unsur utama dalam sistem itu; mula-mula berupa reaksi dari unsur itu dengan oksigen, kemudian juga dengan halogen, dan akhirnya reaksi yang unsur utamanya kehilangan elektron valensinya. (71)

Oleum. Asam sulfat yang mempunyai kadar belerang trioksida sangat tinggi, asam sulfat berasap. (104)

Orbital. Fungsi gelombang untuk suatu lintasan dengan energi tertentu. (4, 6, 8, 9, 10, 13)

Orde reaksi. Bilangan pangkat yang menyatakan besarnya pengaruh konsentrasi zat pereaksi terhadap laju reaksi. (67)

pH. Keaktifan ion hidrogen. (116, 136)

Polar. Berkutub, misalnya sumbu polar, ikatan polar, dan koordinat polar. (28, 29, 30, 207)

Polutan. Bahan yang mengakibatkan polusi. (141)

Potensial. Nama berbagai besaran yang mempunyai hubungan dengan energi potensial. (78)

Sistem terbuka. Sistem yang dapat tukar-menukar massa dan energi (kalor maupun kerja) dengan sekitarnya. (39)

Sistem terisolasi. Sistem yang tidak memungkinkan terjadinya pertukaran materi maupun energi. (39)

Sistem tertutup. Sistem yang tertutup terhadap lingkungan yang masih memungkinkan adanya pertukaran energi. (39)

Sol. Sistem koloid dengan fase pendispersi suatu cairan dan fase terdispersi zat padat atau gas. (201, 207, 208, 210, 213)

Struktur Lewis. Struktur dengan konfigurasi sebagaimana gas mulia dengan cara menuliskan lambang atom dikelilingi oleh titik atau tanda silang di sekitarnya yang menunjukkan jumlah elektron valensi. (25)

Suspensi. Partikel-partikel yang tidak mudah mengendap karena kecil ukurannya dan tidak mudah menggumpal karena saling menolak. (198, 199)

Tawas. Kelompok garam rangkap dengan rumus $M_2(SO_4)_3 \cdot R_2SO_4 \cdot H_2O$ dengan $M = Al, Fe, Cr$, dan $R = K, Na, Li, Rb, Th, Ag, NH_4$. (205)

Tegangan permukaan. Permukaan cairan mempunyai sifat yang mirip dengan selaput lenting yang ditegangkan. (32)

Teori domain elektron. Suatu cara meramalkan bentuk molekul berdasarkan tolak-menolak pasangan elektron pada kulit terluar atom pusat. (22, 23)

Teori hibridisasi. Cara meramalkan bentuk molekul berdasarkan penggabungan orbital-orbital dari tingkat energi yang berbeda menjadi orbital-orbital yang setingkat. (26)

Teori tumbukan. Teori yang menggambarkan pertemuan partikel-partikel pereaksi sebagai suatu tumbukan. (78)

Teori VSEPR. *Valance Shell Electron Pair Repulsion*; pasangan-pasangan elektron yang semua bermuatan negatif akan mengalami gaya tolak-menolak elektrostatik sehingga akan berusaha saling menjauhi dan tolak-menolak antarpasangan menjadi minimum. (22)

Termodinamika. Cabang fisika yang menelaah perubahan energi terutama energi panas ke dalam bentuk energi lain, dan sebaliknya. (39)

Termokimia. Cabang kimia yang mempelajari kalor yang menyertai reaksi kimia. (38, 44, 51)

Termometer. Alat pengukur suhu. (49)

Titik akhir titrasi. Kondisi pada saat larutan asam tepat bereaksi dengan larutan basa ditandai perubahan warna indikator. (147, 148, 149, 151)

Titrasi. Penentuan kadar suatu zat atau lebih dalam campuran atau larutan dengan menambahkan bahan penguji yang dapat bereaksi dengan zat tersebut. (146, 148, 149, 150, 151, 152)

Titrasi asam-basa. Metode penentuan konsentrasi kadar larutan asam dengan zat penitrasi larutan basa atau penentuan kadar larutan basa dengan zat penitrasi larutan asam. (146, 152)

Tumbukan efektif. Tumbukan yang dapat menghasilkan partikel-partikel produk reaksi. (78)

Daftar Pustaka

- Bodner, GM. and Pardue HL. 1995. *Chemistry An Experimental Science 2/e*. Singapura: John Willey & Sons.
- Brady, James E. 1990. *General Chemistry (Principles & Structures)*. New York: John Eiley & Sons.
- Briggs, JGR. 1999. *A Level Guides Chemistry 3rd ed.* Singapore: Addison Wisley Longman.
- Departemen Pendidikan Nasional. 2006. *Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan*. Jakarta: Depdiknas.
- Holman, John & Hill. Graham. 1989. *Chemistry in Context*. England: Thomas Nelson.
- Keenan, Kleinfelter, Wood. 1996. *Kimia untuk Universitas Jilid 1*. (Terjemahan: Aloysius Hadyana Pudjaatmaka). Jakarta: Erlangga.
- Lister, Ted. 1991. *Understanding Chemistry*. England: Stansley Thomas Pub.
- Redaksi Ensiklopedia Indonesia. 2005. *Ensiklopedia Umum untuk Pelajar*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- . 1999. *Ilmu Pengetahuan Populer Jilid 4*. Jakarta: Grolier Intl. Inc PT Widyadara.
- . 1999. *Ilmu Pengetahuan Populer Jilid 6*. Jakarta: Grolier Intl. Inc PT Widyadara.
- Wolfgang Pfeil, dkk. 2003. *Tabel Referensi*. Jakarta: Erlangga.
- www.tg.rim.or.jp
- www.digitalworld.ro
- www.photo.fr
- www.seashells.com
- www.banvit.com
- www.vedan.com
- www.onlinesport.com
- www.fys.uio.no

Indeks

A

adiabatik 51
 adsorpsi 202, 205
 aerosol 200
 aktinida 15
 albuminoid 205
 alkali 114
 alkalosis 167
 alkil 207
 aluminium klorohidrat 204
 amfiprotik 138
 amonia 88, 89, 102, 103
 amonium sitrat 209
 anode 203
 antiperspiran 204
 arang 56, 71, 73
 Arrhenius 114, 137, 139
 asam 102, 114, 138
 asam format 125, 204
 asam kuat 122
 asam lemah 125
 asam monoprotik 115
 asam poliprotik 115
 asam sitrat 114
 asas Aufbau 9
 asas Larangan Pauli 9, 10
 asas Le Chatelier 93, 95
 asidosis 167
 aturan Hund 9, 10
 Aufbau 8, 9
 awan elektron 4

B

basa 115, 137, 139
 basa kuat 124
 basa lemah 128
 basa monohidroksi 115
 basa polihidroksi 116
 batu bara 56
 benzena 32
 bilangan kuantum 4
 bilangan kuantum azimuth 4, 5, 7, 8
 bilangan kuantum magnetik 4, 5, 8
 bilangan kuantum spin 4, 6
 bilangan kuantum utama 4, 7
 BOD 136
 Bohr 2, 3
 bromtimol biru 118
 Bronsted 137, 138, 140

Bronsted-Lowry 137, 138, 140, 156
 buffer 154, 156, 157
 buih 200
 buret 150, 151, 153

C

cara busur bredig 213
 cara dispersi 211
 cara kondensasi 209
 cara mekanik 209
 cara peptisasi 213
 Carl Bosch 103
 COD 136
 cracking 83

D

data energi ikatan 54
 dekomposisi rangkap 210
 derajat ionisasi 98, 121
 diagram entalpi 43
 dialisis 207
 difusi 198, 199
 dipol 28, 29, 30
 dipol sesaat 30
 dipol terimbas 30
 dispersi 209, 211
 domain elektron 22, 23, 25, 26

E

efek Tyndall 202, 209
 eksoterm 41, 43, 78, 97, 102
 elektrode 203, 213
 elektroforesis 203
 elektrolit 122, 128, 132, 183, 189, 190, 204, 209, 210, 213
 elektrolit kuat 122
 elektrolit lemah 122
 elektron valensi 15
 elektronegativitas 31
 elektrostatis 22, 28
 emulgator 201, 206
 emulsi 200
 endapan 182, 187
 endoterm 41, 43, 45, 78, 97
 energi 78, 80
 energi aktivasi 76, 78, 80
 energi ikatan 46, 54
 energi kinetik 78, 80, 203
 energi potensial 3, 78

entalpi 38, 40, 42, 45, 50, 51, 54, 55, 78
entalpi pelarutan standar 45
entalpi peleburan standar 44
entalpi pembentukan standar 44
entalpi pengatoman standar 45
entalpi penguapan standar 45
entalpi peruraian standar 45
entalpi standar 44
enzim 82

F

fenolftalein 118, 147, 148, 150, 151, 152, 153
Frederick Hund 10
Fritz Haber 102
Fritz London 29

G

gas alam 56
gaya london 30, 32
gel 201, 208
gerak Brown 202
golongkan 3

H

Haber-Bosch 83, 102
hasil kali kelarutan 182, 183, 184
Heisenberg 3
hemoglobin 57, 166
Hess 46, 51
heterogen 72, 82, 91, 198
hibridisasi 22, 26
hidrofil 208
hidrofob 208
hidrogen 57
hidrogenasi 83
hidrolisis 167, 168, 169, 171, 174, 175, 201
hiperventilasi 167
homogen 72, 81, 198, 201
hukum Hess 46, 51
Hukum Kekekalan Energi 39, 45
Hund 9, 10
Hydrangea 133

I

ikatan hidrogen 29
ikatan kovalen koordinasi 139
indikator alami 132
indikator asam-basa 118
inert 211
inhibitor 77

K

kalkor jenis 48
kalkor pembakaran 55
kalkor reaksi 38, 49, 50
kalorimeter 46, 47, 48, 49, 50, 55
kapasitas kalkor 48, 49
kapur tohor 205
karbon aktif 205
katalis 71, 76, 79, 80, 82, 93, 103
katalis heterogen 82
katalis homogen 81
katode 203
kelarutan 182, 184
kemolaran 65, 122
kerosin 56
kertas perkamen 198
kesetimbangan dinamis 89
kesetimbangan heterogen 91
kesetimbangan homogen 91
koagulasi 204
koloid 198, 199, 200, 201, 203, 206, 207
koloid liofil 207
koloid liofob 207, 208
koloid pelindung 206
konfigurasi elektron 9, 12
korosif 141
kurva titrasi 147

L

laju reaksi 64, 65, 69, 70, 73, 74, 79, 80, 82
lakmus 118, 168, 169, 170
lantanida 15
larutan lewat jenuh 187
larutan penyangga 149, 154, 166
larutan tepat jenuh 187
Le Chatelier 95, 102
Lewis 25, 139, 140
liofil 207, 208
liofob 207, 208
Louis de Broglie 3
Lowry 137, 138, 140

M

makroskopis 201
mekanika kuantum 3, 4
membran semipermeabel 207
metil merah 148, 149
mikroskop ultra 198, 199, 202
minamata 136
minyak Bumi 56
momen dipol 28, 29, 30
MSG 173

O

oksidasi 71
 oktahedral 24, 28
 oleum 104
 orbital 4, 6, 8, 9, 10, 13
 orde reaksi 67
 orientasi orbital 7, 8
 Ostwald 199

P

Pauli 9, 10
 pembakar Bunsen 75, 77
 periode 3
 pH 116, 136
 pH larutan 114
 polar 28, 29, 30, 207
 polutan 141
 potensial 76
 proses Haber-Bosch 102
 proses kontak 82, 83, 103
 proses Ostwald 104

R

R.G. Gillespie 22
 raksa 136
 respirasi 56
 reversibel 88, 208
 Richard Esignondi 199
 Robert Brown 203
 Rutherford 2

S

Schrödinger 3, 4, 8

senyawa peroksida 204
 senyawa ion 71
 senyawa kovalen 71
 sistem terbuka 39
 sistem terisolasi 39
 sistem tertutup 39
 sol 201, 207, 208, 210, 213
 Sorensen 116
 stalagmit 192
 stalaktit 192
 struktur Lewis 25
 surface tension 32
 suspensi 198, 199

T

tawas 205
 tegangan permukaan 32
 teori domain elektron 22, 23
 teori hibridisasi 26
 teori tumbukan 78
 teori VSEPR 22
 Termodinamika 39
 termokimia 38, 45, 51
 termometer 49
 tetapan kesetimbangan 88, 90
 tetrahedral 23, 27, 28
 Thomas Graham 198
 titik akhir titrasi 147, 148, 149, 151
 titrasi 146, 148, 149, 150, 151, 152
 titrasi asam-basa 146, 152
 tumbukan efektif 78

V

van der Waals 29

Aktif Belajar
Kimia
Untuk SMA & MA
Kelas
XI

ISBN 978-979-068-733-2 (No. Jld lengkap)
ISBN 978-979-068-735-6

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor: 9 Tahun 2009 Tanggal 12 Februari 2009 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp.12.628,-